В. А. Нарсеев

Промышленная геология золота

Au

Научный мир

УДК 553.41 (3.15)

ББК Н 26.325.1

Нарсеев В.А. **Промышленная геология золота.** М.: Научный мир, 1996. 243 с.

В книге рассмотрены различные проблемы геологии золота и его практического применения. Работа включает исторический очерк золотодобычи в мире и в России - в частности, сведения о торговле и потреблении этого металла. Основная часть книги посвящена геологии золоторудных месторождений Мира, особое внимание уделено зональности, которая является основой для научного анализа и прогноза оруденения на флангах и глубоких горизонтах. Дается метод ускоренной геолого-экономической оценки месторождений. Обсуждаются проблемы промышленной геологии золота.

Narseev V.A. **Industrial Geology of Gold.** M.: Scientific World, 1996. 243 p.

The book covers theoretical and practical problems of gold geology. It includes a review of gold mining history including data on trade and consumption of this metal in the world also as in Russia. The main part of this book contains the description of a geology of gold deposits in the world. Especial attention devoted to the zonality pattern of gold deposits which is a basis for scientific analysis and prognosis of gold mineralization at flanks and deep levels of gold deposits. It is considered the method of short geologic-economical assessment of gold deposits. The problems of the gold-mining industry are discussed.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований

ISBN 5-89176-006-1

© В.А.Нарсеев
© Научный мир

Казахстанцам — друзьям и коллегам посвящается

Предисловие автора

Мировая литература по золоту обширна. Практически каждый аспект геологии, геохимии и минералогии, экономики золота рассмотрены в сотнях публикаций — статей, отчетов, монографий.

Обобщающие работы по золоту менее многочисленны. Часть из них имеет сегодня историческое значение (Фосс, 1963), другая — широко используется специалистами. Наиболее значительными, на мой взгляд, являются монографии Н.В. Петровской, Р. Бойля, пятитомник авторского коллектива ЦНИГРИ " Золоторудные месторождения СССР", а из популярной литературы — трехтомник "Российское золото" под редакцией В.И. Калугина.

Предлагаемое читателю издание не претендует на полноту охвата всех проблем золота, а скорее отражает научные пристрастия автора.

Многие идеи и материалы в книге имеют совместное авторство с коллегами — Г.Б. Левиным, В.А. Фаворовым, Ю.В. Ляховым, А.Ф. Коробейниковым, В.Г. Хомичем, Ф.А. Летниковым, С.С. Вартаняном, Н.А. Фогельман, Е.В. Бахановой, А.Н. Бугайцом, И.Т. Самарцевым, Н.М. Заири и другими. В предлагаемой книге отдельные разделы по моей просьбе написаны: В.В. Уваровым — Золото в магматических породах; Ю.В. Ляховым — Термобарогеохимические условия формирования золоторудных месторождений; Г.Б. Левиным — Рудные столбы месторождений золота; В.В. Стефановичем — Ускоренная геолого-экономическая оценка месторождений. Мое участие ограничилось редактированием этих текстов и рядом дополнений к ним.

Я рад возможности высказать им слова искренней благодарности и готовности отдать все, что накоплено за годы совместной работы.

Книга эта готовилась долго, в несколько приступов, Наверное, это не способствовало цельности содержания и гладкости изложения. Только благодаря исключительной настойчивости и дружеской помощи Феликса Летникова, я рискнул представить ее к изданию.

Издание осуществлено при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, за что я высказываю ему особую признательность.

Надеюсь, что книга не оставит равнодушным читателя. И положительная, и отрицательная его реакция будет с благодарностью принята, так как всегда мне было интересно мнение каждого человека, с которым пришлось встречаться в этой жизни.

I. Очерк истории золота

1. Древняя золотодобыча в различных странах мира

Auri sacra fames[1], как сказал Вергилий, владеет человеком несколько тысячелетий. Находки древнейшего золота относятся к неолитическим погребениям IV тыс. до н.э. Они известны по раскопкам в Месопотамии, Пакистане, Болгарии, Ставрополье. Достоверно датированные упоминания об использовании золота относятся к XXXV в. до н.э. — в гробнице фараона I-ой династии Зера найдены древнейшие ювелирные изделия из самородков золота.

По экстравагантному замечанию Винсента Буранелли "когда фараон Тутанхамон, лежащий в золотом саркофаге и окруженный множеством блестящих золотых вещей, был похоронен в египетской долине королей более 3000 лет тому назад, роман человечества с золотом уже давно начался".

По мнению большинства исследователей первым металлом человечества было золото, а не медь или железо [Atchison, 1960]. Наиболее полные и достоверные сведения по золоту связаны с Египтом, хотя отрывочные данные по Индостану и Китаю свидетельствуют о древнейшей культуре золота и на этих территориях. Но все-таки документально достоверные источники есть только по первому золотодобывающему государству — Египту. Рудно-россыпные районы Коптос, Акита, Вади-Аббаса, Вади-Аллаки были главными источниками золота. Египетский период золотодобычи характеризуется грандиозным накоплением металла (Табл. 1).

Таблица 1

Добыча золота египетского периода в Африке [Historia..., 1629]

№№ п/п	Страна	Периоды			Итого, т.
		каменный и медный век	бронзовый век	железный век	
1	Египет	700	570	410	1680
2	Нубия	20	1020	510	1550
3	Эфиопия	10	50	50	110
4	Зап.Африка	-	20	100	120
5	Юж. Африка	-	50	340	380
Всего		730	1710	1410	3840

Данные по другим регионам мира о древнейшей истории золота отрывочны [Sutherland, 1969; Pretorius, 1981]. Они сводятся к упоминаниям отдельных рудников, стран Ойкумены в произведениях географов древнего мира (Греция, Рим, Арабский Восток). По Африке эти данные приводятся в египетских документах. Заслуживают упоминания о золотодобыче из россыпей Малой Азии, на руднике Зод-Сиспиритес в

[1] Проклятая жажда золота (лат.)

Армении, на рудниках Междуречья и Месопотамии. Ко временам бронзы относятся сведения о добыче золота из богатых жил, зон окисления и россыпей Алтая и Степи. Отсутствуют данные о величине золотодобычи Индии, Китая, Юго-Восточной Азии, однако дошедшие до наших дней памятники культуры и письменности свидетельствуют о высоком развитии золотого дела. Золото, видимо, добывалось из россыпей, а золотокузнечное дело достигло высочайших вершин (литье, чеканка, золочение). К началу бронзового века относится открытие богатейшей Пиренейской провинции, где древние кельты начали добычу золота из россыпей еще в III–II тыс. до н.э. Железный век характеризуется широким развитием золотодобычи на Алтае, в Забайкалье, в Центральной и Юго-Восточной Европе, Иберии, Франции. К 500 годам до н.э. относится появление кельтского термина "минерал". Особую роль в золотом деле древнего мира Европы и Малой Азии играли фракийцы — одно из праславянских племен, вытесненных Римской империей в I в.н.э. Археологические материалы II в.н.э. по Приднестровью, Приднепровью (Мартыновский клад на Днепре, Александрийский клад на Ингульце), Тернопольские находки "серой" керамики — аналога Пловдивской, свидетельствуют о высокой общей культуре Фракии, и в частности ее металлургии. Академик БАН В.Георгиев считает, что обработка золота во Фракии была начата на тысячу лет раньше, чем в Месопотамии. Раскопы на территории современной Болгарии и Югославии дали превосходные золотые и бронзовые изделия (Панагюрийский клад), созданные более 2000 лет назад. Доказывается, что т.н. "скифское" золото произведено во Фракии.

Римский период накопления золота связан как с добычей в разных районах Африки, Азии, Европы, так и с захватом накопленных богатств Египта и державы Александра Македонского (Табл. 2).

Таблица 2

Добыча золота римского периода в Европе, Азии и Африке [Quring, 1948]

№№ п/п	Страна	добыча, т.
1	Египет	30
2	Нубия	50
3	Эфиопия	110
4	Африка (прочие районы)	130
5	Иберия (Испания)	1000
6	Галлия	50
7	Италия	100
8	Карпаты	130
9	Балканы	350
10	прочие районы (Малая Азия, Кипр и др.)	110
		2060

Выдающиеся результаты были получены в Иберии, где из кор выветривания, зон окисления и россыпей Сьерра-Невады, Рио Тинто, Тахо, Сан Доминго было добыто около 1000 т металла. Система золотодобычи в виде "арругий" описана Плинием Младшим [Historia..., 1629]. До наших дней сохранились разработки в районе Лас Медулас (Понферрада, Леон, Испания) [Villalibre, 1989].

Римские разработки золота в Лас Медулас поражают воображение. Музей под открытым небом демонстрирует результаты гигантского труда рабов. Многокилометровые штабели валунов в долине притоков Рио Сил, в районе озера Каруседо и селений Лас Медулас и Орельян, подземные галереи и останцы неразмытых блоков золотоносных красновато-желтых песчано-галечно-валунных отложений, остатки водозаводных каналов и сегодня производят глубокое впечатление. Над всем этим царит на

вершине горы римская крепость Корнатель — символ власти, силы и упорства человека. Рассматривая руины Лас Медулас, можно четко представить технологию отработки россыпей. Вода из рек Рио Кабрера, Рио Кабо, Рио Оза по многокилометровым каналам, вырубленным в скалах, попадала в Лас Медулас. Здесь она направлялась по распределительным каналам в вертикальные стволы, пройденные в толще золотоносных отложений. Размывая эти отложения, вода по горизонтальным дренажным галереям нижнего уровня стекала в долину. При размыве возникали воронки обрушения, валуны вручную удалялись за пределы участка работ. Водой выносились глинистые и легкие частицы, а тяжелый шлих с золотом накапливался у подножья размываемого блока. Золото извлекалось промывкой на простейших шлюзах. Эта технология разработана и описана Плинием Младшим — руководителем золотодобычи в Иберии, под названием "Ruina Montium" [Historia..., 1629].

Наиболее продуктивные золотые рудники в древнее время были римские. Римляне были действительно первыми профессиональными горняками. В римской цивилизации главными металлами были железо — для производства оружия легионов, золото — для оплаты легионеров и свинец — для водопроводных труб. Часто говорят, что границы Римской Империи определялись знанием положения рудных полей. Звездой Римских металлических провинций был Иберийский полуостров и не удивительно, что Асторга — столица главнейшего золотоносного района Рима, последней пала под ударами варваров в 500 г. до н.э. С 50 г. н.э. до 500 г. н.э. Испания была главным производителем золота Римской Империи. Здесь было добыто около 1000 т. золота. Изучение древней римской горной промышленности, во-первых, однозначно свидетельствует о том, что римское золото было дороже нынешнего — около 1000 долл./унцию (в современной терминологии). Это означает, что римские месторождения отрабатывались с более низким содержанием, чем экономически выгодно сегодня. Часто считают, что более низкий уровень содержаний связан с использованием рабского труда, но мы должны помнить, что в те времена плотность населения в Испании была в десять раз ниже чем сегодня, так что численность рабов на труднейших горных работах была ограничена. Рабов надо было добывать в войнах, их надо было охранять легионерами, которым платили золотом. Выражение "рабский труд — дешевый труд" на самом деле редко соответствовало действительности.

Главным источником римского золота на северо-западе Испании были аллювиальные россыпи. Плиний [Historia..., 1629] указывает многие месторождения, среди которых главные реки, такие как Тасус, Орбиго, Эриа и Дуерна связаны с добычей золота. Золото поступало из рассеянных вкрапленных руд в гранитах и гнейсах при образовании кор выветривания. Часть его связана с согласными кварцевыми жилами в основании разреза силурийских сланцев. Это был первичный механизм концентрирования рассеянного в массе пород золота. Римские золотодобычные работы по корам выветривания силурийских отложений известны в верховьях Дуерны. В миоценовый период в связи с подъемом и перемещением Иберийского полуострова на восток ливневыми потоками были смыты коры выветривания и образованы гигантские конусы фангломератов и террасы. Один из таких фангломератов — Оманья, интенсивно отрабатывался римлянами. При детальном его изучении оказалось, что третичные фангломераты и террасы имеют мощность до 100 м и сложены несортированными обломками преимущественно гранитов до 1 м в диаметре. Матрикс состоит из микстита глин, песков и щебня. Золото находится в матриксе в виде мелких пластинок около 1 мм в диаметре и несколько микрон толщиной. Среднее содержание для региона составляет около 50 мг/м^3. При размыве золотоносных третичных галечников происходило образование четвертичных современных россыпей, например в долине Орбиго, где содержания золота невысоки, но достигают 200 мг/м^3. То же самое можно сказать о четвертичных галечниках Дуерны, образованных при размыве третичных террас. Следы римской золотодобычи видны по древним разработкам в Салабе и

Астурии. В Салабе эксплуатировались жилы вокруг молодых гранитов, внедрившихся в отложения нижнего палеозоя.

Астурийские римские рудники были обнаружены на вершинах холмов вдоль зоны разлома, который проходит примерно на 150 км и отделяет докембрийский кратон от раннепалеозойских отложений. Главным методом добычи был гидравлический, сходный с обнаруженным на свинцовых месторождениях северных Пеннин. Там штабеля руды оставлялись на зиму, в течение которой породы становились трещиноватыми. Породы штабелей весной промывались водами, уносящими глинистые и легкие частицы. Тяжелые минералы накапливались. По оценкам в Астурии было добыто переработано около 25 млн. т. руды при содержании 2-5 г/т.

В степях Евразии (Восточная Европа и Средняя Азия) в V–VIII в. н.э. небывало широкое распространение получили золотые украшения с камнями. Это связано с обогащением кочевников в первой половине V в. н.э. при грабежах богатств Ирана и Рима гуннами. Возникает особый стиль — Сарматская полихромия: золото + бирюза + зооморфные мотивы и гуннская полихромия — золото + красные камни (гранаты, сердолики) со свободным их размещением на плоскости. В последующие столетия (VII–VIII в. н.э.) эта полихромия нашла особое отражение в геральдических пряжках и поясах. Европейские гунны в период войн за счет громадных контрибуций сосредоточили баснословные богатства. Об этом свидетельствуют богатые клады и захоронения, отражающие гуннский стиль покрытия всех вещей позолотой с камнями. При этом цельнозолотые вещи были редки, а позолоченные вещи принадлежали не только знати, но и рядовым гуннам.

Крупнейшими экономическими районами Древнего Востока являлись оазисы — Ташкентский, Маргианский, Мервский, Согдийский, Хорезмский.

Со II тыс. до н.э. в Ташкентском оазисе на руднике Акташкан начато извлечение и обработка металлов. Со второй половины I тыс. до н.э. Чаткало-Кураминский горнорудный центр Северо-Восточного Мавераннахра — Ахангаран (Кара-Мазар) приобретает особо важное значение в Илаке (рудники Кочбулак и Канимансур). Основного расцвета горный промысел и металлургия достигли в средние века (городища Имлак-Тункет, Кульата-Тункет, Аблык-Абрлыч, Намудлыг, Кухисим и поселения Кендырсай, Куймоксай, Акташкан, Ташбулак) [Буряков, 1974]. Древние рудники этого периода и сегодня сохранили часть названий: Актепе, Кенкол, Ирису, Наугарзан, Лашкерек, Тузкуль, Кочбулак, Тогберды, Гуштсай, Кендырсай, Шаугаз, Унгурмикан, Коктепе, Караташ, Каратюбе, Актурпак, Сартабуткан, Кальмакыр, Накпай, Балыкты, Кульемес, Куйлюксай, Акташкан, Канимансур, Караташкутан, Адрасман, Кокрель, Самарчук, Кызылалма, Кактуруск [Археология ..., 1985].

Все эти городища, поселения и рудники входили в состав Илака — крупного горно-металлургического центра Древнего Востока, датирование деятельности человека в котором по керамике надежно проведено с середины I тыс. до н.э. до XII в. н.э. Здесь выделяется три крупных района: Канимансурский, древний арабский синоним Канимансура — Кухисим (серебряный), с десятками месторождений серебра, золота, меди и тысячами древних отвалов; Канджол-Кансайский с полутора тысячами древних выработок и древних отвалов и Табошарский (наименее значительный). В Канджол-Кансайском районе выделены группы: Талды, Алгалы, Огутчар и Терекли. Последняя заключает пять полей древних рудников и идентифицируется как серебряный рудник Илана X в. н.э. Здесь добыто не менее 150 т серебра.

В целом, на горных промыслах Илака объем добычи руд превысил 1 млн. $м^3$, в т. ч. Ag и Ag-Pb руды — 78%, Au — 3%, Cu и бирюза — 19%. Ю.Ф. Буряков [1974] дает более точные оценки: объем добытых руд — 2,5 млн. $м^3$, в т. ч. Au — 0,605 млн. $м^3$; Pb-Ag — 1,24 млн. $м^3$, Cu — 0,281 млн. $м^3$. Оценивая средние содержания в рудах золота 10 г/т и серебра — 400 г/т, получаем цифры добычи металлов: Au — 15 т, Ag — 1200 т. При этом большая часть добычи приходится на VII-X вв. н.э. (Табл. 3).

Таблица 3

Характеристика рудников Приташкентского оазиса (Илак-Карамазар)

№№ п/п	Наименование	Металл	Время эксплуатации			Оценка добычи, т.
			начало, век	расцвет, век	упадок, век	
1	Лашкерек	серебро	VII–VIII	VIII–IX	XI–XII	400
2	Кочбулак	золото	2-ая пол. I тыс. до н.э.	IX–XII	XII	10
3	Кендырсай	медь, серебро, золото		VI–VIII	XII	
4	Кызылалма	золото	V–VI	VIII–XII	XII	5
5	Самарчук	золото		X–XI	XII	1
6	Кокрель	золото	V–VI	VI–VIII	XI	1
7	Унгурликан	золото, бирюза	VI–VII	VII–VIII		1
8	Мискан	серебро, золото	V	VI–VIII	XII	150
9	Тункет	золото, россыпи	VI	VI–VIII	IX	
10	Кайнар	серебро	VIII–IX	XI–XII	XII	10
11	Мунчактепе	серебро	V–VII	VIII–XIII	XIV	10
12	Актурпак	золото, серебро	V	VII–XII		5
13	Накпай	золото	IV–V	VII–VIII		1
14	Кызата	серебро, золото	IV–V	VII–VIII		10
15	Кургашинкан	серебро	IV–V	VII–VIII		50
16	Акташкан	золото	VI–VII	VII–IX		1
17	Кухисим	серебро	IX–X	X–XII	XII	100
18	Терекли	серебро		IX–X	XII	50
19	Табошар	серебро	IV–VI	IX–X		50
20	Кансай	серебро		IX–XII		10
21	Такели	серебро, золото	IV–VI	VI–VIII	IX	50
22	Актепе	серебро, золото		VII–IX		100
23	Тузкуль	серебро	VI–VIII	IX–X		20
24	Канимансур	серебро	VII–VIII	IX–X		50

Исследованиями горного промысла Илака установлено следующее развитие событий.

V–VI в. н.э. — мелкая добыча золота на месторождениях Кокрель, Капакия, Алмалыксай, Кызылалма и серебра — на Лашкереке, Канджоле и Канимансуре.

VI–начало VIII в. н.э. — развитие района, сближение Илака с Чачем, активные связи с Согдом, Ферганой. Крупная добыча серебра на Лашкереке, Тузкуле, золота — на Кызылалме, Тогберды, Кочбулаке. Широкая известность серебряного промысла по всему Древнему Востоку.

VIII в. н.э. Арабское нашествие: 712 г — осада Самарканда Кутейбой, 713 г — поход на Чач, 715 г — поход на Фергану, 751 г — битва арабов и китайцев на Таласе, 777 г — восстание Юсуфа ал-Берма в Бухаре. Упадок промыслов и резкое падение добычи металлов.

IX–X в. н.э. Подъем горного промысла Илака, Ферганы, Шельджи. Крупное монетное производство на серебряном руднике Шаша (нынешний Лашкерек). На монетном дворе Гарун-ал-Рашида (789-790 гг.) и Тахирида Абдуллах бин-Тахира (804-834 гг.) выпускались дирхемы, которые, благодаря высокой пробе, получили хождение от Армении до Финляндии и Дании. Монетный двор — Мааден аш Шаш связан с горно-

металлургическим промыслом Карамазара. Из-за высокого уровня добычи серебра Ибн-Хордадбек называет Илак Новым Панджширом. Серебро добывалось в Кансае, Такели, Алтынтопкане, Караташкутане, Канимансуре, Канджоле, Акташкане, Чокадамбулаке, Каратюбе-Мискане, Алмалыке, Саукбулаке, Пенгазе, Лашкереке-Тузкуле, а золото из кварцевых руд — в Кочбулаке, Тогберды, Кызылалме, Балыкты, Актжене, Сартабуткане, а также из галечников Туккета и Ахангарана.

XI–начало XII в. н.э. Период социально-политической неустойчивости. В 996 г. династию Саманидов сменяют Караханиды. В XII в. Илак переходит к Каракитаям, а после падения их правления — к Хорезмшаху, который отдал область хану найманов. В 1220 г. район был занят татаро-монголами. С начала XI в. начался серебряный кризис, следствием чего явилась замена серебряных монет золотыми и медными. Добыча благородных металлов сократилась.

XIII–XVI в. в. После завоевания Средней Азии Чингизханом в Ахангаране поселился монгольский род джелаиров. В 1266 г. главой Чагатаидских владений провозглашен Мубарекшах. В этот период проводилась мелкая добыча на единичных объектах: золота — на Балыкты, серебра — на Канджоле, бирюзы — на Актурпаке.

XVII в.–начало XVIII в. — полная утрата знаний о рудных богатствах края.

В Средние века высокое ювелирное искусство было характерно не только для Средней, но и Центральной Азии.

Древнехакасское государство в бассейне среднего течения р. Енисей имело развитое ювелирное дело и металлургию. При этом переделу подвергались железные, медные, оловянные и свинцовые руды (культура Чаатас, VI–IX в. н.э.) Аскизская культура древних хакассов (IX–X вв. н.э.) также демонстрирует развитие черной металлургии и серебряного дела (чеканка, насечка, аппликация). В последующем происходит отмирание этих ремесел под ударами кочевых народов: X в. н.э. — печенеги, XI в. н.э. — половцы, XIII в. н.э. — монголо-татары. Род Темучина (Чингис-хан, XIII в.) и потомки содействовали развитию ремесел в городах. Так, в Золотой Орде — первая столица — Сарай Бату (Сарай-ал-Махруса) на Ахтубе (Волге) и вторая столица — Новый Сарай Берке (Сарай-ал-Джедгу) славились своими ювелирами [Черников, 1949].

На Северном Кавказе в X–XIII в. н.э. интенсивно развивалась металлургия и оружейное дело, а также ювелирное производство — чеканка, тиснение, позолота, чернь, гравировка. Об этом свидетельствуют раскопы могильников Рым-Гора, Змейский, Мартан-Чу.

Золотые богатства американского континента открывались человечеству в различное время. Если об эксплуатации золотых месторождений северо-американского материка мало что известно до начала калифорнийской и последующих лихорадок, то по латиноамериканским территориям история золота уходит вглубь веков. Ольмекская культура (II–I тыс. до н.э. — начало I тыс. н.э.) использовала золото для изображения символов. Индейцы Мексики — Майя и Ю. Америки — Инка, добывали серебро и золото в огромных количествах. В начале I тыс. н.э. на территории Мексики было известно около 100 городов майя с развитой культурой серебра и золота. Остатки некоторых из них известны сегодня (Чичен-Ица, Копан, Майяпан, Ушмаль, Тикаль). Серебро и золото в империи инков были священными металлами — дарами Солнца и Луны. Они не имели меновой материальной ценности. С VI в. до н.э. в области Тиауанако развивалась самобытная культура, которая в начале VII в. н.э. под влиянием приморских культур Нижнего Перу достигла своего расцвета, а затем катастрофически угасла. В конце XII в. н.э. после прихода инка наступил новый расцвет области Тиауанако, археологическими свидетелями чего являются города Куско и Мачу-Пикчу. Распад империи инка, простиравшейся от Перу, Колумбии, Боливии до северо-западной Аргентины и Бразилии, произошел в преддверии нашествия конкистадоров. Спор за власть между законным сыном Великого Инки Уайны Капаки Уаскаром и

незаконнорожденным его сыном Атауальпой ослабил империю. Поход Ф. Писсаро в 1531 г. привел к разгрому империи и ее последующему уничтожению. Захваченный в плен Атауальпа по преданию предложил за себя выкуп золотом. Его количество оценивается минимум в 100 т., т. к. золотыми изделиями и металлом была заполнена комната размером 6х7х2 м., т.е. объемом 84 $м^3$. Инка накопили поразительное количество золота и серебра. Оно может быть оценено в многие сотни тонн. В Куско — столице империи инка, конкистадоры разрушили храм с пятью главными часовнями. "Первая из них посвящалась богу Солнца. Её потолок и стены были выложены толстыми плитами золота. Переднюю стенку святыни покрывал огромный диск из чистого золота — символ высшего божества и правителей империи. Соседняя часовня посвящалась Луне. Ее убранство было из серебра. В часовне, посвященной звездам, к серебру в убранстве были добавлены драгоценные камни. Последние две часовни посвящались символам молнии и радуги." Так излагают предание чешские путешественники И. Ганзелка и М. Зигмунд.

Средневековая история Латинской Америки связана с завоеваниями испанцев и португальцев. К этому времени относится серебряный бум Потоси (Сьерра-Рико). Тайна серебряной горы Потоси была известна одиннадцатому правителю империи инка. Однако, интенсивная эксплуатация богатств Потоси началась после обнаружения 22 апреля 1545 г. пастухом Уалькой серебра на склоне горы. Хозяин территории Хуан де Вилья Роэль мгновенно разбогател и стал вице-президентом Нового Света. В 1547 г. город Потоси насчитывал уже 18000 жителей. Рабский труд и амальгамация позволили получать уникальное количество серебра. Всего в Потоси насчитывается около 3000 штолен (бокаминос) общей длиной порядка 35–40 тыс. км. В начале XIX в. из 18000 серебряных рудников Потоси осталось действующими только 25. Лишь в XX в. начался новый — оловянный бум.

В силу особого географического положения Африка избежала вюрмского оледенения, а обильные леса и сезонность жизни в саванне способствовали сокращению лесной культурной традиции, названной по Санго Бей озера Виктория (Уганда) — Сангоан. Для нее характерно широкое применение каменных и костяных орудий. То, что сегодня называется Негро Африка — есть развитие Сангоан. В северной Африке, с другой стороны, развивалась культура Моустерейн, наследующая средиземноморскую и ближневосточную.

В период с 35 по 8 тысячелетия возникло все многообразие типов человека. Из Моустерейн и Сангоан Стоун Эйдж на севере появился неандерталец, а в южной экваториальной Африке — родезоид.

Смену палеолита неолитом называют Неолитик Революшн, она состояла в появлении металлургии меди, далее бронзы и, наконец, железа.

На Ближнем Востоке сельское хозяйство и города появились около 8 тысячелетия до н.э. В Египте и долине нижнего Нила сельское хозяйство и животноводство появилось в 4 тысячелетии. В Судане[2] (часть Африки между Сахарой и северной границей тропического леса) в период 5–4 тысячелетия до н.э. формировались африканские расы: ливано-берберы — сегодняшние туареги; нило-сахарцы — коказоиды (Caucasoids). К 2000 г. до н.э. завершилось формирование Сахары как пустыни, что отделило расы Средиземноморья от рас Негро Судан.

Следующим важным следствием неолитической Революции было распространение металлических инструментов и оружия взамен каменных. Вместе с медью и бронзой в Западной Африке появилось железо (культура NOK, сев. Нигерия, 300 г. до н.э.). Железная технология пришла в Африку извне, скорее всего, из Финикии. Первая великая цивилизация фараонов Египта выросла на африканской почве, хотя Египет не

---

[2] Судан — от арабского Bilad al-Sudan — "земля черного человека" — эквивалент греческого "Эфиопия" — эквивалент берберского " Anal n-Iguinamen" — современная Guinea.

похож на другие части Африки. Это — скорее оазис в пустыне, связующее звено Средиземноморья и Азии (Герзейская культура — 4000–3000 л. до н.э.). Две абсолютных монархии внезапно появились в дельте и долине Нижнего Нила. Революция в человеческом мышлении и организации драматически самовыразилась в идеологии пирамид, вершиной которой явилась Великая Пирамида Гизе (2400 г. до н.э.). Она была высотой 500 футов, состояла из 60 млн. т. каменных блоков (при отсутствии таких материалов в районе) и создана без применения железных инструментов и машин.

Негросуданская и египетская торговля началась около 2500 л. до н.э. При XII династии (2000–1780 г. до н.э.) Нубия была превращена в колонию и золото, строевой лес, тропические продукты через нее поступали в Египет. При Новом правлении (1580–1050 г. до н.э.) эта торговля стала очень интенсивной.

Особое значение в развитии торговли Средиземноморья и Африки имела Финикия (греческий эквивалент Сирии-Ливана-Канаанита), которая основала множество колоний в Средиземноморье и Сев. Африке. Важнейшие из них — Карфаген, Триполитания, Ликсус. Это способствовало развитию Сахарской торговли, где золото, слоновая кость, с одной стороны, и соль — с другой, составляли основную продукцию. Возникло несколько оазисов — центров.

В 1 в. н.э. Страбон назвал гарамантов Геродота, живущих в оазисах Туат, фарузисами, негритами. Сахарская торговля развивалась по двум путям. Один шел на юго-восток от Феззана и Гадамеса через самую узкую часть Сахары к Нигеру, а другой — на юг из Марокко к золотоносным землям долин Сенегала и Нигера. Карфагеняне особенно интенсивно занимались золотом, но установить контроль за торговлей золотом могли только на море, т. к. через Сахару было много тайных путей торговли. Имеется несколько письменных свидетельств очевидцев, в частности т. н. "Periplus Honno" — члена правящей фамилии Мазонидов из Карфагена. Известна особая форма торговли "Dumb trade" (или молчаливая торговля), когда продавцы оставляли свой товар и уходили, а покупатели выкладывали свой товар в виде бартера. При согласии сторон каждая независимо забирала бартерный эквивалент.

Римская империя закрепила в Сев. Африке влияние Египта, Греции и Финикии. Центром новой цивилизации на африканском материке стала Александрия, где соединились греческая философия, иудаизм, а при императоре Константине (334 г. н.э.) — христианство. Основатель современной христианской доктрины был александриец Athanasius (296–373 г. н.э.). В Александрии жил и его великий оппонент Arius (256–336 г. н.э.) — пропагандист ереси, родившийся в Сирии. Новый Карфаген, построенный Римом, был важным центром Иудаизма и Христианства. Здесь жил величайший из всех отцов раннего Христианства Св. Августин (родился в Нумидии в 354 г. н.э., умер в Бишопе Хипио в 430 г. н.э.

Исламский мир (хелениты и персы) оказал большое влияние на Сев. Африку через, прежде всего, торговлю. Арабские географы, историки и путешественники в 8 в. н.э. дали очень много информации по западному и центральному Судану. В ранних публикациях выделялось два района: первый — к северу от верхнего Нигера и Сенегала — т. н. Гана и второй — к северо-северо-западу от озера Чад — т. н. Канем.

История золота Западной Африки до средних веков располагает лишь отрывочными сведениями. Уровень развития народов Сахары IV и III тыс. до н.э. был близок уровню Средиземноморья. Однако, высыхание Сахары и превращение ее в пустыню во II тыс. до н.э. привело к отступлению населявших ее народов на юг и исключительно неблагоприятно сказалось на их развитии. В V в. до н.э. Геродот рассказал о гарамантах — народе, населявшем область Фазания (ныне Феццан на юге Ливии), которые были высокоорганизованными и поставляли рабов, драгоценные камни и золото в обмен на изделия ремесленников стран Средиземноморья.

После разгрома Карфагена Римом состояние торговли сменилось на состояние завоевания и покорения. В I в. до н.э. проконсул Людий Корнелий Бальб прошел походом до Феццана. Гараманты так и остались в истории Рима могущественным и опасным соперником. В средние века сведения о Сахаре принадлежат арабским источникам. В 20-х годах VIII в. наместник халифа Хишама — Убейдабд-аллах аб ал-Хабхат провел военный поход из Марокко в Сахару. Однако, главным источником информации являлась активная торговля с Западным Суданом. По этим данным на территории Западной Африки с конца IV в. н.э. возникло государство народа сонинке — Гана. Цари Ганы монопольно владели золотодобычей.

Арабский ученый X в. Абу-ал-Хасан Али ибн ал-Хусейн ал-Масуди в капитальном труде "Промывальни золота и россыпи драгоценных камней", ссылаясь на ал-Фазари (ок. 786 г. н.э.), упоминал Гану — страну золота. В 70-х годах IX в. Ахмед ибн Якуб ал-Якуби писал: "Затем государство Гана. Царь их велик достоинством. В его стране есть золотые рудники, а под его властью находятся многочисленные цари ... и во всей стране — золото..." [Куббель, 1966].

Обменная торговля между Северной и Западной Африкой, Западной Африкой и Египтом отмечалась многими историками и географами. Так Абу-ал-Касим ибн Хаунал — один из крупнейших арабских географов домонгольского периода (X в.) писал о том, что главная торговля Севера и Запада — соль и золото. "Царь Ганы — богатейший из царей земли, благодаря имеющимся у него богатствам и запасам золота, добытого в прежние времена для предшествовавших ему царей и для него самого...". Около двух веков спустя, уроженец Кордовы Абу Убейд Абдаллах ал-Бакри, одна из самых ярких фигур в культурной истории масульманской Испании, в труде "Книга путей и государств" дал полное описание Ганы, ее государственного устройства, торговли. Основанием для этого послужили обширные архивы Кордовского халифата (держава Омейядов). И вновь здесь подчеркивается важнейшая роль в развитии золотодобычи потребности в соли. Главные золотоносные районы располагались в междуречье верховий Нигера и Сенегала. Объектами добычи являлись россыпи и зоны окисления коренных месторождений.

Ал-Бакри отмечал "Наилучшие находки золота в этой стране отмечены вблизи города Гияро (Ghiyaro), который находится в 18 днях пути от столицы короля. Страна Вагаду[3] населена племенами негров, Гияро находится в 12 милях от р. Нигер и здесь много мусульман". В энциклопедическом труде "Рассказы времени" Ал-Масуди отмечал: "В их пустынях есть рудники, и самородки бывают такими большими, что видны в песке, как выступающая зелень". Подробное описание добычи золота в главной золотоносной области Ганы — Бамбуке дано Ал-Идриси. Область Бамбука расположена между р. Сенегал и его притоком Фалеме. "...Страна Вангара — это страна золотого песка, известная его тонкостью и обилием... . Длина его — триста миль и ширина — сто пятьдесят миль..." (арабская миля — около 2 км).

У Ал-Бекри мы находим такую характеристику самородков: "... бывают весом от унции до ритля (от 30 до 406 гр.), в некоторых случаях — более 3 кг. У царя есть самородок, подобный большому камню". Через сто лет после Ал-Бекри этот самородок — символ царского достоинства в Гане и первую из ее достопримечательностей описал ал-Идриси: "... Во дворце у царя есть золотой "кирпич" из одного цельного куска золота весом 30 ритлей... Аллах создал его целым слитком, который не отливался в огне и не обрабатывался никаким орудием. В нем пробито отверстие, за которое привязывают лошадь царя... Царь гордится этим перед прочими царями черных".

Золото из аллювия добывалось в Бамбуке и Галаме (долина среднего Сенегала, его южных притоков — Фалема и между ними), а также в Боуре (верхний Нигер и его

[3] государство Вагаду - наименование района Сонинке, где расположилась древняя Гана. "Гана" или "Кана" означает "шеф", "главный", т. е. место, где находится король.

притоки — Санкарам и Тинкиссо, северный приток Сенегала — Бакой). У торговцев и их короля были веские основания не обнаруживать истинное местонахождение золотодобычи, особенно для представителей арабского мира; не допускать их прямых контактов с рабочими рудников. Ал-Бакри, как и другие авторы, отмечает, что король оставлял в своем резерве самородки, а для торговли отдавал золотой песок. Это свидетельствует о хорошем контроле золотодобычи.

Другой район добычи — империя Манде (район современной Либерии, берега Слоновой Кости, Ганы). Здесь первое место в экономике занимало золото. Основное значение имели месторождения Лоби в долине Черной Вольты, где аллювиальное золото в мелких многочисленных приисках в лесу давало очень богатые концентрации (реки Офин, Анкобра). Второе место в экономике занимал орех "кола" — источник кофе арабского мира (лучший сорт Коланитида).

В начале XIII в. Гана утратила свое могущество и превратилась в вассала новой суданской державы — Мали, державы династии Кейта. Клан Кейта выделился как правящий в конце XII–начале XIII в. Его представитель Сундъята — национальный герой народов малинке и бамбара возглавил борьбу за освобождение от власти царей Сосо (государство в районе нынешнего Бомако). Государство Мали интенсивно развивалось и достигло расцвета во времена мансы (царя) Мусы — I (внучатого племянника Сундъяты). В 1324 г. Муса — I совершил хадж, который произвел ошеломляющее впечатление в Египте. В свой хадж он выступил из столицы Мали Ниани и вез с собой сто вьюков золота весом по три кинтара (кинтар — 42,33 кг) каждый, т. е. около 13 тонн.

По описанию крупного египетского чиновника ибн Фадаллаха ал-Омари со слов шейха Абу Саида Османа ад-Дуккали золотодобыча проводилась "дикими язычниками страны пустынь" и каждый год после окончания сезона дождей на границе этой пустыни происходил обмен золота на доставленную сюда соль. В 1375 г. Авраам Крескес, житель Майорики, знаменитый картограф, изобразил в центре великой пустыни правителя Мали с золотым самородком в руке. Около фигуры правителя было написано: "Этого государя зовут Мусой Мали, государем негров Гвинеи. Золото, находимое в его землях, столь обильно, что он — богатейший и самый знатный король во всей стране". По осторожным подсчетам французского ученого Рэймона Мони годовая добыча золота в Мали составляла около 5 т. В XV в. Мали пришло в упадок и в XVI в. распалось на маленькие государства под ударами племен туарегов, моси и сонгай.

Два центра золото-соляной торговли Западной Африки: Томбукту (северное направление) и Гао (египетское направление) оставались важнейшими в экономике и политике. В последних годах XIV в. Гао стал независимым владением сонгаев. История взлета и падения сонгаитской державы описана Махмудом Кати в книге "История искателя сообщений о странах, армиях и знатнейших модах" (1519–1593 г. с доработкой в XVII в. внуком автора) и Абдаррахмном ас-Сади в хронике "История Судана". Ас-Сади упоминает рудники соли Тегаззы и золота Биту, отмечая, что "эти благословенные рудники не имеют себе равных во всем этом мире".

Перу ал-Хасана ибн Мухаммеда ал-Ваззана аз-Зайятти (Льва Африканского), уроженца Гранады, принадлежит труд "Описание Африки, третьей части света, и примечательных вещей, какие там есть". В этом труде приводятся сведения о золоте. В Томбукту — столице Мали, королю принадлежит большое богатство в "пиастрах и золотых слитках, один из которых весит тысячу триста фунтов... При торговле вместо монеты они обычно используют куски чистого без примесей золота, а для мелких покупок — привозимые из Персии раковины, четыре сотни которых оцениваются в дукат. Шесть и две трети дуката составляют римскую унцию" (1/12 фунта).

Сонгайская держава была разгромлена марокканцами. При этом были захвачены огромные количества золота. Султан Марокко Мулай Ахмед получил прозвище

"Золотой" (аз — Захаби). Однако, марокканцы не захватили главные месторождения, а систему добычи и сбора металла разрушили.

В XV в. португальцы начали торговлю золотом морским путем. По свидетельствам Казамогто, Пачеко Перейры, Валентина Фернандеса и Жоао де Баррого за 100 фунтов соли португальцы получали 8 унций золота. По В. Фернандесу годовой оборот торговли золотом был эквивалентен 30 000 фунтам стерлингов.

Золото, что было получено на южном муссонном берегу, который позже стал Родезией, интенсивно участвовало в арабской и суахильской торговле. Это — земли района Килва, озера Малви, речных долин Ковума, долин Замбези и нагорья (высокого вельда) Родезии. Центром торговли становится Софала на полпути от дельты Замбези до устья реки Саби. Эти данные однозначно свидетельствуют о том, что золото, которым торговали арабы, добыто на территории нынешней Зимбабве. Древнейшие рудники и пункты плавки металлов ассоциируют с фазой Зива культуры Гокомере и периодом культуры Леопарда Копийе (300 г. н.э.). Эти две культуры являются следствием эффективного развития сельского хозяйства бантуязычных племен в Катанге. Ясно, что арабские торговцы на побережье Сомали не были первыми иностранцами, ознакомившимися с родезийским золотом. Существует мнение, что технология горных работ здесь была сходна с таковой южной Индии, где золотые рудники работали уже в IV веке до н.э. Археологические исследования в Великом Зимбабве и других местах показали, что в I тысячелетии существовало высокое сельскохозяйственное, применявшее железо и золотодобычу общество народа Леопарда Копийе.

Древние бушмены — охотники-собиратели не знали технологии плавки, но использовали тонкозернистые, стекловатые породы, такие как обсидиан или халцедон, из которого выделывались скребки и оружие. Различные охры гидроокислов железа использовались для рисования. Древние места плавок, отмечаемые слитками и шлаками, обнаружены в Зимбабве (II в. н.э.). В XI веке бантуязычные племена развили новые формы социальной организации, в том числе металлургическое производство металлов — золота, олова. Арабский путешественник Аль Масуди из Багдада, посетивший Софалу на Мозамбикском берегу, описал большую торговлю золотом Зимбабве. В XI веке золото Зимбабве вывозилось торговцами арабами и суахили в арабский мир, Индию и азиатские рынки. Сооружение удивительных каменных зданий Великого Зимбабве, в свое время крупнейшего города околосахарской Африки XIII–XV в. в., свидетельствуют о развитии золотой промышленности. Установлено, что свыше 4000 древних золотых разработок и около 500 древних медных разработок в Зимбабве, Мозамбике и Ботсване, особенно в зеленосланцевых поясах Зимбабве, датируются этим периодом.

Развитие торгового капитализма в Европе поощряло Португалию XIII в. искать золото, медь и рабов. Эта торговля заменила арабскую торговлю X в.

В 1573 г. Мунхумутапа ограничил Португальские права на горную добычу золота и др. минералов в Сев. Зимбабве и Мозамбике.

В 1620 г. португальцы предприняли две военных кампании против государства Мунхумутапа. В конце XVII в. Чангамирес (южное государство Зимбабве) при поддержке португальцев превратили Мунхумутапу в вассальное государство. Чангомиры доминировали в золотодобыче и торговле золотом, от долины Саби (Сабе) до моря, пока они не были побеждены Нгуни (Ндебеле) под Лезиликази в 1840 г. — начале экспансии буров в Трансвааль.

Европейские исследователи XIX в., такие как Давид Ливингстон и Карл Моч (Моуч), описали раннюю золотодобычу. В 1880 г. алмазный и золотой магнат Капской провинции Сесил Джон Родс послал представителей в столицу Ндебеле (Булавайо) получить минеральные концессии. В 1889 г. Родс основал Британскую южно-африканскую компанию (БЮАК) и получил королевский указ на право управления территориями Замбези.

В Ботсване 15 столетий тому назад появилась культура бантуязычных племен с технологией получения железа из гематитовых руд. Древние разработки открыты в Танцвамогала и Гокгейл на юге страны.

Малави — один из древнейших очагов культуры бантуязычных народов (4000–5000 лет тому назад). В районе оз. Малави (Муаза) установлены следы производства железа. В X–XII в. в. Малави играла важную роль на арабском торговом пути из Зимбабве через Тете вдоль долины Ровума на восток в Килву (побережье Индийского океана).

В первом тысячелетии началось железное производство бантуязычными племенами в Замбии. Медь добывалась и плавилась на многочисленных месторождениях Катанги (Шабе и др.). Наиболее важными древними разработками окисленных руд считаются Каншанси и Бвана Мкубва. Первое описание медных разработок принадлежит Филиппо Пифагетти (Рим) и основано на данных португальца Одоадо Лопеша. Слитки золота, меди и рабы шли по торговому пути в Софалу (Бейру).

Золото в древних цивилизациях Юго-Восточной Азии (Камбоджа, Тайланд, Вьетнам) широко использовалось в культовых произведениях.

Кхмерская цивилизация достигла расцвета в IX–XIII в. н.э. и особенно в эпоху правления Джайяварманa VII. Ярким примером является таинственный храмовый город Ангкор Тома в джунглях северо-западной Камбоджи. Храмовый мавзолей Байон был высечен из горы песчаника. Центральную его часть венчала золотая башня, окруженная еще 54 башенками, на четырех сторонах каждой из них, обращенных к сторонам света, были высечены лики улыбающегося Будды.

В буддийском монастыре Та-Пром на барельефах отражена история этого периода. Перечислены все богатства, накопленные в монастыре, в том числе храмовая утварь из золота и серебра, драгоценные камни, жемчуг. В украшении храмов широко применялось золото. Окончания башен покрывались тончайшими пластинками золота, внутри храмов находились отлитые из золота статуи. Статуя Вишну крупных размеров украшала внутренний покой храма Ангкор-Вай — одно из самых значительных религиозных сооружений — памятников Камбоджи. Он был воздвигнут в период правления царя Сурьявармана II. На крашение храма, статуи и утварь было израсходовано несколько сотен килограмм золота. Об этом свидетельствует Яцек Палкевич — известный путешественник современности.

Интересно подчеркнуть, что как и в цивилизации инков, майя, здесь золото имело только культовое значение и не несло функции мерила стоимости.

Новая история золота подразделяется на четыре периода:

- первый (XV–XVIII в. н.э.) — открытие Америки и вывоз золота в Европу;
- второй (XVIII–начало XIX в. н.э.) — расцвет добычи золота в России;
- третий (XIX–начало XX в. н.э.) — золотые бумы Северной Америки и Австралии;
- четвертый (XX в.) — золотой век Виттватерсранда;

На Северо-Американском материке в новые времена золотодобыча была начата из россыпей Калифорнии (р.Коломна, земли Сутера) в феврале 1848 г. После публикации 15 марта 1848 г. сообщения о находке богатого золота в газете “Калифорния” разразилась первая американская Золотая лихорадка. В конце XIX в. были открыты россыпи Юкона и Клондайка. Драматическая история золотодобычи периода лихорадок отражена в научной и художественной литературе.

В Австралии золотодобыча была начата в 1851 г., когда Харгривс открыл богатые россыпи по р. Соммерхилл. Прогноз австралийского золота был дан английским геологом сэром Родериком Импеем Мурчисоном. Он блестяще подтвердился. За счет богатства элювиальных россыпей и коренных месторождений, выходящих на поверх-

ность, золотодобыча в Австралии бурно развивалась. В настоящее время Австралия занимает 4-ое место в мировой золотодобычс.

Рекордным уровнем добычи золота, завершающим третий ее период, является производство 670 т золота в 1912 г. Этот максимум объясняется работой на полную мощность шахт Витватерсранда, освоением в США крупных месторождений Хомстейк, Крипл-Крик, Тинтик и др.; месторождений крупнейшего золоторудного поля Канады Поркьюпайн, знаменитого золоторудного пояса Абитиби и др.

С 1913 до 1922 г. отмечался спад золотодобычи, что объясняется свертыванием разработки россыпей на Аляске и в Австралии, отработкой в ЮАР наиболее легкодоступных слоев золотоносных конгломератов. На 1922 г. приходится наибольший спад золотодобычи в капиталистических странах — 467 т. Подъем добычи с 1923 г. был прерван войной в 1941 г. Её минимум приходится на 1945 г. — 654 т. Начавшийся подъем золотодобычи с середины 40-х годов объясняется восстановлением рудников, разрушенных или законсервированных во время войны, а также модернизацией предприятий горной промышленности, особснно в ЮАР, США и Канаде. Максимум золотодобычи в 1966 г. составил 1280 т. В ЮАР в 1970 г. было извлечено рекорднос в мире количество благородного металла — 1000,4 т, не превзойденное с тех пор. Снижение мирового уровня золотодобычи связано с паденисм се производства в ЮАР, истощением запасов высокосортных руд Витватерсранда и удорожанием эксплуатационных расходов. В США и Канаде также произошло истощение запасов крупных и крупнейших золоторудных месторождений. Минимум золотодобычи (994 т) отмечен в 1980 г. Создался определенный дефицит металла в ювелирной промышленности и произошел скачок цен. В декабре 1980 г. стоимость золота 2-3 недели составляла 25-30 дол./г. Начиная с 1981 г. происходит стабильный рост золотодобычи. Подъем ее связан исключительно с бурным развитием геологоразведочной и горно-эксплуатационной деятельности в ведущих странах-продуцентах (рис. 1). В 1981–1992 гг. добыча возросла в США в 10 раз, в Австралии — в 14 раз, Бразилии — почти в 20 раз, Канаде — почти в 4 раза. В этих странах в 1981–1988 гг. объемы геологоразведочных работ на золото достигали 48-90 % на твердые полезные ископаемыс. Впервые возникла сравнительно крупная золотодобывающая промышленность в Папуа — Новой Гвинее, Доминиканской Республике, Чили, Колумбии, отчасти Филиппинах и др. [Шиганов и Некрасов, 1995].

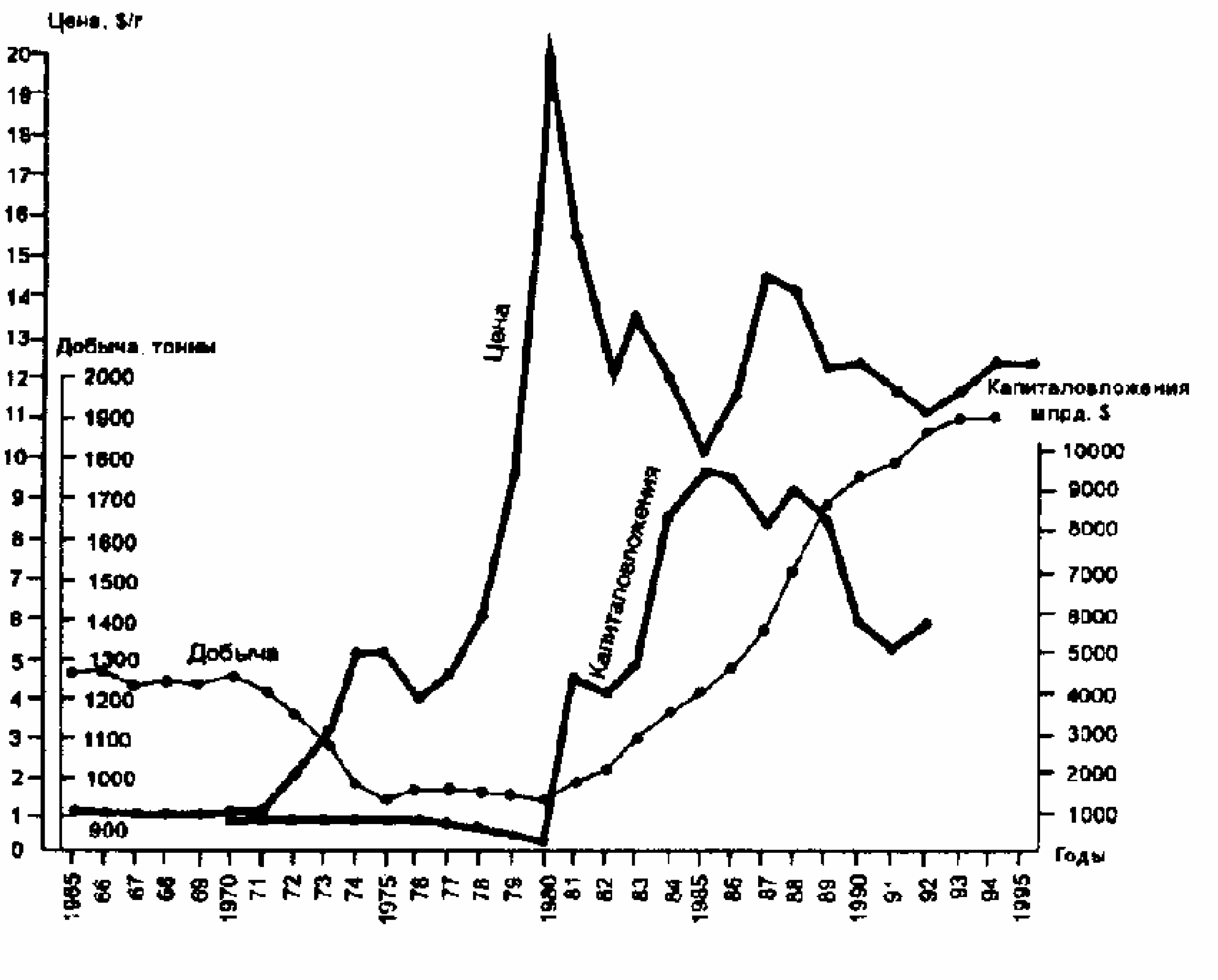


Рис. 1. Динамика цены, капиталовложений и добычи золота в странах западного мира (по А.А. Шиганову и Е.М. Некрасову).

Прогноз цены на золото. В последние годы среднегодовая биржевая цена в долларах за грамм золота составила: в 1983 - 13,64; 1984 - 11,59; 1985 - 10,2; 1986 - 11,82; 1987 - 14,37; 1988 - 14,04; 1989 - 12,24; 1990 - 12,33; 1991 - 11,71; 1992 - 11,09; 1993 - 11,41; 1994 - 11,86; 1995 - 12,1; 1996 - 13,2. Самые низкие среднегодовые цены на золото были в 1985 и 1992 гг. (10,2 и 11,9 дол./г).

2. История золотодобычи в России

В новой истории золота один из важнейших этапов — расцвет россыпной золотодобычи в России, обусловившей начало золотых бумов Америки и Австралии. Полные обзоры истории золота России даны в монографии Данилевского "Русское золото" [1959] и трехтомном издании "Российское золото" [1994]. Отсылая читателя к этим работам, а также трудам Комиссии по изучению золотоносности России и годовым подшивкам Горного журнала за 1890–1900 годы, приведем хронику становления золотого дела важнейших районов России [Геологические исследования ..., 1912, 1915; Максимов, 1971, 1977].

Хронология золотого дела Урала

21 июля 1745 г. раскольник Ерофей Марков обнаружил рудное золото. Шахту задавал Игнатий Юдин 21 августа 1747 г.

1748 г. — первый золотой рудник России — Шарташский (он же Пышминский, позднее Первоначальный).

1753 г. — попутно при строительстве шахты был получен 1 фунт чистого золота Березовского месторождения.

Декабрь 1755 г. — Работа Директора Российской Монетной Канцелярии И.А. Шлаттера "Проект и план, коим образом и наилучшим имеющиеся в Сибири Нерчинские и прочие серебряные заводы, кроме Колывано-Воскресенских, в лучшее состояние и размножение привесть".

3 июля 1760 г. — Предписание Сената Берг-Коллегии откомандировать на Екатеринбургские промыслы 219 горных обер- и унтер-офицеров, команду солдат и унтер-офицеров, закрепить за промыслами 9105 государственных крестьян.

24 января 1769 г. — указ Екатерины II графу Мусину-Пушкину А.И. "Об учреждении особливой конторы при лаборатории Берг-Коллегии для разделения золота и серебра".

Конец XVIII в. (1790–95) — выявлено 140 проявлений золота в т. н. Екатеринбургской Золотой долине (по А.С. Ярцеву, 1812).

1803 г. — открытие Крылатовского месторождения

Май 1812 г. — Указ Сената "О представлении права всем Российским подданным отыскивать и разрабатывать золотые и серебряные руды с платежом в казну подати". Открытие десятков новых месторождений.

1813 г. — находка Катериной Богдановой самородка золота в рыхлых отложениях близ Верх-Нейвинского завода.

1814 г. — открытие Львом Ивановичем Брусницыным первых в России золотоносных россыпей р.р. Березайка и Пышма.

1823 г. — создано 200 приисков по добыче россыпного золота на Урале.

Июнь 1824 г. — находка гнезда самородков на Царево-Александровском прииске Миасского района (16 июня — 3,04 и 1,6 кг; 23 июня — 3,3 кг; 0,84; 1,22; 1,26; 1,49; 1,66 кг; 25 октября 1826 г. — самородок 10,1 кг. Содержание золота в песках доходило до 10 кг/т и не снижалось ниже 250 г/т.

1829 г. — открытие партией купца Верходанова 62 проявлений золота, в том числе 5 промышленных россыпей по р. Сосьве.

1832 г. — открытие П. Свиридовым россыпей по р. Бузгун (Ю. Урал).

1835 г. — открытие А. Барбот де Марни россыпей по р.р. Цыелька, Уй, Шартымка.

1835 г. — открытие К. Чайковским россыпей р.р. Троицк, Таналык, Кызылка.

1835 г. — открытие В. Стржевским и А. Нестеровым россыпей верхнего течения р. Лозьвы.

1838 г. — открытие В. Стржевским россыпей р.р. Джусамбай, Кургсан, Уй, Токмач, Ингей, Гумбей, Тимир и др.

26. 10. 1842 г. — находка самородка "Большой Треугольник" (36,02 кг) в россыпи р. Ташкурганка вблизи Кашеевского месторождения. Находка в 1844 г. рядом с "Большим Треугольником" в "Пудовом карьере" самородка 21,12 кг. По К.А.Кулибину в этом карьере подняты тысячи самородков весом от 4 до 400 гр.

1843 г. — добыча золота на приисках Спасский, Успенский, Преображенский по р. Лозьве.

1844 г. — добыча хорунжим П.Е. Колбиным золота на приисках Быстрый (р. Бузгун), Аннинский (р. Сартгузак) Южного Урала.

18. 11. 1845 г. — начало золотодобычи на прииске Каменно-Петропавловском месторождения Кочкарв.

В 1847 г. работало 7 приисков, 1870 г. — 152 прииска, 1894 г. — 300 приисков, давших за год 100 пудов золота.

Ерофей Марков и березовское золото

1 июня 1745 г. Ерофей Марков, раскольник деревни Шарташ Екатеринбургского ведомства дал показания Канцелярии главного заводов Правления, что "в проезд от Шартинской к Становской деревне, отъехав версты три, усмотрел... наверху светлые камешки, подобные хрусталю, и для вынятия их в том месте землю копал глубиною в человека, сыскивал лучшей доброты камень. Только хороших не нашел и меж оными нашел плиточку, на которой знак с одной стороны... как золото, и тут же между камешками нашел таких же особливо похожих на золото крупинки три или четыре..." Серебряник Семен Дмитриев установил достоверность золота. На место находки был направлен асессор Андрей Иванович Порошин вместе с Ерофеем Марковым, оберштейгером Венделем, мастеровым Костроминым, однако они золота не обнаружили. Однако, Марков на свой страх и риск продолжил поиски. Он обнаружил свинцово-серебряные руды.

31 мая 1745 г. Бергауер Макс с Шилово-Исетского рудника с рудокопами начал поисковые работы по объявленным Марковым местам. Месяц работы на территории богатейшего будущего Березовского месторождения не дал результатов и Макс рапортовал о нецелесообразности розыска здесь драгоценного металла. "Ненадежно, чтобы в тех или около оных мест, где могли какие рудные признаки сказываться". Члены канцелярии Никифор Клеопин, Андрей Порошин, Игнатий Юдин подозревали, что Марков не дает точного указания места находки золота. Поэтому 22 июля Ерофей Марков получил от Канцелярии предупреждение "буде же, по прошествие двух недель, о тех местах подлинно не объявлено, то с ним поступлено будет по силе указа другим образом... по сему ему, Маркову, к объявлению срок придет августа 5 дня 1745 года". Ерофей Марков нашел поручителей — шарташских крестьян Фаддея Шадрина и Ивана Дмитриева и вновь подтвердил свои показания о месте находки золота. 9 августа было принято решение разрешить Маркову продолжить прииск руды... "для совершенного его оправдания". И вновь поручителями Маркова выступили его односельчане — шарташцы Петр Черных и Тихон Дмитриев. Рассмотрев все материалы, присланные из Екатеринбурга, Берг-Коллегия предписала "с вышеупомянутым Марковым поступать без озлобления". В результате Маркову было объявлено о свободе приискa без поручительства. Работы продолжались с участием иностранных штейгеров Венделя, Чоке, Маке, Горна, Шрама, Шемберна, Телька, а также лозоходца Рылка. Все было безрезультатно.

Только 11 июня 1747 года пробирный мастер Ермолай Рюмин обнаружил в "песчаной материи", взятой на указанном Марковым месте "малой знак золота". И. Юдин 21 августа 1747 г. осмотрел шурфы, заложенные на месте находки и предложил пройти "умеренную шахту... саженев до трех". Из проб, взятых И. Юдиным, Е. Рюмин

23 сентября 1747 г. "обнаружил по промывке 1 ширфу из одного фунта шлиху 5 золотников, а в том шлиху содержит от центра золота два лота".

28 сентября 1747 г. было принято решение приступить к разработке золота: "...а будущего 1748 года сначала майя месяца в тех ширфах работу производить сильною рукою".

5 октября 1747 г. Е. Рюмин взял образцы из шурфов и сообщил об успешных результатах анализа: "... камень черный с желтой охрою ...по расчислению надлежит быть из ста пуд руды золота шесть золотников... Камень красный с белым кварцом и писом... по расчислению из ста пуд руды золота три четверти золотника...". По расчетам Е. Рюмина новый рудник будет давать руды со средним содержанием "из ста пуд — золота три и три осьмых золотника". Так возник Шарташский (он же — Пышминский) впоследствии -Первоначальный рудник. Это рудник-родоначальник Березовских промыслов, затем давший свыше 1 600 000 пудов золотой руды.

Таблица 4

Объем добычи золота на рудниках Березовских промыслов

№№ п/п	Наименование рудника	Годы работы	Количество руды, т.	Добытое золото			
				пуд	фунт	зол.	дол.
1	Первоначальный	С 1748	1629763	21	3	15	79
2	Соймоновский	1752–1852	4685759	56	11	1	63
3	Цветной	1752–1860	2742029	27	13	18	41
4	Низменный	1755–1843	682187	7	34	65	-
5	Небогатый	1755–1839	375356	3	1	36	-
6	Ключевской	1755–1843	3662290	59	29	80	14
7	Шестой	1755–1843	1640592	21	83	2	12
8	Ильинский	1756–1826	5900350	129	36	21	30
9	Воскресенский	1756–1855	2580360	32	6	93	80
10	Трехсвятительский	1764–1852	5387717	81	12	13	70
11	Первопавловский	1764–1843	1952560	23	37	5	76
12	Ушаковский	1766–1822	178716	1	15	30	72
13	Нагорный	1772–1860	576573	4	13	57	71
14	Лиственничный	1772–1845	5985	-	4	11	12
15	Комаровский	1775–1849	375356	3	1	56	-
16	Вознесенский	1796–1823	243926	1	6	82	48
17	Царево-Александровский	1797–1815	11699	-	2	11	12
18	Царево-Елизаветинский	1797–1854	107516	-	34	6	87
19	Верх Прудный	1797–1839	25893	-	10	64	84
20	Князеконстантиновский	1797–1803	225	-	-	2	-
21	Вагнерский	1797–1843	2324306	24	30	87	19
22	Катаевский	1798–1854	70375	-	22	47	30
23	Царево-Мариинский	1793–1822	21198	-	10	17	36
24	Пышминский	1798–1843	275609	2	17	90	28
25	Перекрестный	1798–1858	2642384	26	10	87	32
26	Архангельский	1798–1814	32720	-	9	92	-
27	Николаевский	С 1799	316983	1	19	31	-
28	Богословский	1799–1836	4928	-	1	75	72
29	Благовещенский	1799–1818	2134538	21	93	24	27
30	Чигаревский	1799–1849	415906	2	21	84	65

Примечание: 1 доля = 44,43 мг = 1/96 золотника, 1 золотник = 4,266 г = 1/96 фунта, 1 фунт = 409 г, 1 пуд = 40 фунтов = 16,38 кг.

В начале 50-х годов XVIII в. на Березовских промыслах возникли рудники — Березовский, Небогатый (1755 г.), Нагорный (1766 г.), Лиственничный (1772 г.), Комаровский (1775 г.), а в 90-х годах — Верх-Прудной, Князе-Константиновский, Вагнерский, Преображенский, Пышминский, Петропавловский, Царево-Елизаветинский, Забудаевский, Масловский, Сторожевский, Царево-Александровский, Перекрестный, Князе-Николаевский, Архангельский, Мочаловский. К концу XVIII в. работало свыше 50 рудников. С 1754 г. по 1800 г. на Березовских рудниках было добыто 360 пудов 4 фунта 14 золотников неочищенного золота.

К 1804 г. было открыто еще 13 рудников и разведано 7 квадратов (Севастьяновский, Романовский, Андреевский, Филипповский, Мариинский, Адамовский, Анникский). В 1804 г. было добыто 4 764 613 пудов руды и получено 17 пудов 10 фунтов 39 золотников и 47 долей чистого золота (табл. 4).

Особый вклад в развитие Березовских промыслов внес А.С. Ярцев — управитель уральских рудников и заводов с 28 марта 1797 г. По его приказанию были оценены запасы золота по состоянию на 1.1.1799 г. — 20 333 429 пудов руды и 324 пуда 13 фунтов 14 1/2 золотников золота. А.С.Ярцев впервые четко сформулировал основные черты металлогении золота Урала и представление о поясовом распределении золотых месторождений.

Березовские рудники и сегодня служат стабильным источником золота. Перспективы рудного поля далеко не исчерпаны. Так находка простого крестьянина стала источником богатства нации на протяжении столетий.

Хронология золотого дела Алтая

2500 г. до н.э. — зарождение горного промысла. Андроновская культура, производство бронзы.

VII–VI в. до н.э. — появление скифских племен, производство железа.

III–II в. до н.э. — I–II в. н.э. — развитие золотодобычи на Урале, в Сибири, на Алтае. Скифское золото.

XIII в. н.э. — походы Чингисхана, уничтожение племен, падение золотодобычи.

XV в. н.э. — племена джунгаров, захват земель Алтая, упадок золотодобычи.

1700 г. — создание Рудного Приказа (Берг-коллегии) Петра I.

1713 г. — доклад Петру I о наличии золотых россыпей по притокам Иртыша вблизи джунгарского города Яркенда.

1715 г. — экспедиция гвардии подполковника И.Д. Бухгольца из Тобольска по Иртышу. Закладка Ямышевской крепости.

1718 г. — строительство г. Семипалатинска Василием Чередовым на развалинах Ямышевской крепости.

1720 г. — экспедиция гвардии майора Ивана Михайловича Лихарева по Иртышу и Черному Иртышу. Заложение Усть-Каменогорской крепости.

1717 г. — челобитная Степана Костылева и Федора Комара генерал-губернатору Сибири князю Гагарину о находке богатых медных и золото-серебряных руд.

1723 г. — экспедиция Акинфия Демидова в район озера Колывань, открытие нескольких богатых медных и золото-серебряных месторождений.

1725 г. — начало работы рудников (Змеиногорский, Плоскогорский, Березовский, Медвежий) и плавильни (Локтевский завод, построенный Д. Семеновым).

1729 г. — пуск Колывано-Воскресенского завода.

1739 г. — пуск Шульбинского завода.

20 мая 1742 г. — указ Правительственного Сената России о защите казахского населения и обороне крепостей иртышской линии.

1747 г. — переход недр Алтая в личную царскую собственность (Кабинетские земли и рудники).

1749 г. — учреждение Округа Колыван-Воскресенских (позже — Алтайских) горных заводов с центром в г. Барнаул.

12 января 1761 г. — Царский указ Сенату и Коллегии Иностранных дел организовать "...нарочную экспедицию для сыска рудных месторождений... привлекая прежде кочевавших в Алтайских горах калмыков, знающих месторождения золотых, серебряных или других металлов руды, пожаловав за показание места, надежного к добыче руд, до 500 рублей". Организация экспедиций Петрулина, Поливанова, Головина, Эйдена.

1814 г. — внедрение методов поисков россыпей Л.И. Брусницыным.

1825–1832 г. г. — открытие за этот период на Алтае 450 россыпей.

1830 г. — начало добычи золота из россыпей Егорьевского прииска.

1832 г. — первый шурф С.И. Попова с россыпным золотом на Иртыше близ устья реки Чар выше Семипалатинска.

11 июля 1833 г. — заявка С.И. Попова на прииски Бертыбай и Сарт-Булак.

1834 г. — учреждение С.И. Поповым и В.А. Злобиным Золотопромышленного товарищества.

1835 г. — заявки С.И. Попова, С. Самсонова, Н. Мухина на прииски по притокам Буконш, Чара.

1836 г. — заявка С.И. Попова на прииск Жанама, Кызылсу.

За 10 лет С.И. Поповым промыто 1125889 пудов песков и добыто свыше 12 пудов золота при среднем содержании 39 долей. Были выявлены россыпи левобережья и правобережья Иртыша — Кулуджун, Куперлы, Большая Буконь, Джумба, Малая Буконь, Аганакты, Сенташ, Жанама, Себинка, Жаныгас, Канайка, Чар, Мариновка, Курчум, Майкопчагай, Балакальджир, Карагаш, Жаланаш и др.

1869 г. — на россыпях Ю. Алтая и Калбы промыто за год 1982840 пудов песков и добыто 9 пуд. 32 ф. золота.

1870 г. — принятие устава частной золотопромышленности. Основные добывающие предприятия входили в состав АО Попова, Дерова, Касаткина, Титова, Бекметова, Товарищество горных промыслов киргизской степи, Кабинет Его Императорского Величества.

1895 г. — добыча золота составила 30 пуд. 28 ф. в год.

1901 г. — промыто 70450500 пудов песков и добыто 31 пуд 23 фунта 71 золотник золота. В период с 1880 по 1913 г. г. суммарная добыча составила 720 пудов золота.

1899 г. — открытие рудных жил месторождении Баладжал с высоким содержанием золота — 20–25 зол/т. В течение 10 лет были обнаружены месторождения Акжал, Боко, Даубай, Баладжал, Сенташ, Кулуджун, Лайлы, Теректы, Джумба, Канайка, Тумараши, Джанатас, Вера Чар, Алкабек, Караоткель, Битигельды. Крупнейшие месторождения открыты старателями: Истоминым (Кыстав-Курчум, россыпь), Смирнягиным (Сенташ), Голубковым (Даубай), Костыревым и Селиверстовым (Кулуджун).

1912 г. — находка на Касаткинском ключе прииска Джумба Дегтяревым самородка весом более 16 ф. (6500 гр).

1910–1912 г. г. — открытие на территории Ю. Алтая 12 рудников. Создание крупных объединений — Алтайской золотопромышленной компании (Курчумская группа приисков), фирмы "Гоней и Банги" (Англия), Кулуджунского золотопромышленного товарищества, Компании Конюхова, Компании "Мосовин и Плещеев", Компания "М.С. Мусин, Халистов и К°"; Маркакульского золотопромышленного товарищества, Южно-Сибирского золотопромышленного АО, ЗОА Алтай, АО Аурум, Джанатасского товарищества Ш. Рафикова, Российского золотопромышленного общества, Западно-Сибирского товарищества Мугина, Часовникова, Степанова; АО Сенташ; Зайсанского горнопромышленного общества. Самое крупное — Российское золотопромышленное общество во главе с екатерининским купцом П.А. Конюховым на

рудниках Акжала добывало 1 200 000 пудов руды из 30 жил при среднем содержании 9 зол/т (40 г/т). На всех рудниках работало 14 обогатительных фабрик с 27 бегунными чашами, три завода по цианированию эфелей (1 500 000 пудов эфелей в год). Общая мощность фабрик составляла 16 200 пудов/сут. (260 т/сут.).

28 июня 1918 г. — национализация рудников и приисков.

1919 г. — прекращение золотодобычи.

31 декабря 1921 г. — Постановление СНК РСФСР "О золотой и платиновой промышленности".

15 ноября 1922 г. — Всероссийский горнопромышленный съезд.

8 марта 1922 г. — создание районного управления золотой промышленности Усть-Каменогорска — Райзолото под руководством горного инженера Д.М. Белоусова, быв. упр. рудников Баладжал и Кулуджун. Начало организации старательских артелей и восстановления рудников Даубай, Сенташ, Акжал и др.

6 марта 1923 г. — Постановление СНК РСФСР "О мерах к развитию золотой и платиновой промышленности".

27 августа 1925 г. — образование трестов Акжал-Золото и Алтайзолото, в июле 1926 г. объединенных в трест Казвостокзолото.

Апрель 1927 г. — организация Всесоюзного Золотопромышленного акционерного общества под руководством Александра Павловича Серебровского. Подъем работ на золото. Открытие богатой жилы Манка И. Аникеевым, богатой жилы Ретивая Ш. Ганиевым, жил Параллельной, Джумба Х. Лебедевым.

8 июня 1933 г. — создание треста Алтайзолото. Первый управляющий — бывший уральский кузнец Н.П. Глинских, второй управляющий — И.П.Баранов и гл. инженер В.Ф. Бауман [Нурсултанов и Кирпота, 1992].

Хронология золотого дела Западной Сибири.

1826 г. — разрешение купцам Рязанцеву, Верходанову, Черепанову и Рязанову на отыскание золота в Вятской и Тобольской губерниях, а также купцу Андрею Попову — в сибирских губерниях, а князю Голицыну — в Енисейской и Иркутской губерниях.

1828 г. — допуск к поискам и разработке золота в Томской, Енисейской, Иркутской губерниях купцам Кузнецовым и Баландину.

1829 г. — разрешение на разработку в Сибири золотых песков купцу Степану Попову.

1827–1830 г. г. — открытие промышленных россыпей в Томской губернии, Минусинском и Коктебинском округах, Мариинской тайге поисковой партией Андрея Попова.

1828 г. — открытие исключительно богатой россыпи р. Кунустрюль.

1833–1836 г. г. — открытие богатейших и крупных россыпей в Минусинской тайге.

1838 г. — открытие крупных россыпей по р. Бириче и Удерею в системе Верхней Тунгуски поисковой партией купца Рязанова под руководством Гаврилы Машарова, за удачливость и чутье прозванным "таежным Наполеоном".

1839 г. — открытие крупных и богатых россыпей северо-енисейской тайги в бассейне р.р. Пит, Подкаменная Тунгуска (р. Октолик, Калами, Севагликон).

1847 г. — добыча в северо-енисейском районе — 14,7 т., в южно-енисейском — 5,2 т.

1899–1913 г. г. — общая добыча в Зап. Сибири и на Енисее составила 25,7 т., в т. ч. 70% из россыпей.

Хронология золотодобычи Ленского района

1635 г. — основание г. Олекминска.

1843 г. — открытие поисковыми партиями иркутского 1-ой гильдии купца Павла Герасимова, коммерции советника Хрисанды Кандинского и генерал-майора Безносикова россыпей по р.р. Бухта, Бурекань (приток Олекмы).

1846 г. — открытие богатых россыпей в бассейне р. Хомолхо партиями купца 1-ой гильдии Константина Петровича Трапезникова (нач. партии Петр Корнилов, прииск Спасский и нач. партии Николай Окуловский — прииск Рождественский).

1850 г. — открытие россыпей по р. Кигелан.

1853 г. — открытие россыпей по р.р. Балаганах, Бульбухта, Вамохта (район позже назван Дальней Тайгой), а также по р. Большой Патом.

1861 г. — величайшее открытие Ленского района — россыпи бассейна р. Ныгри, приток р. Вача. Три поисковых партии иркутских купцов Трапезникова, Баснина, Катышевцева под руководством Ивана Высоких. Одновременно партия Базилевского открыла россыпь руч. Верного. Всего в бассейне р. Ныгри было добыто в период с 1863 до 1917 г. — 170 т. золота, в т. ч. из всемирно известных приисков Кропоткинский, Предтеченский, Варваринский, Верный и Иосифский. Открытие россыпи р. Угахан (партия купцов Сибирякова и Трапезникова, прииск Радостный).

1865 г. — открытие богатейшей россыпи по р. Агкыркан — Берикан.

1881 г. — добыт на прииске Радостный крупнейший самородок на Лене — 26 кг.

1863 г. — открытие богатых россыпей бассейна р. Бодайбо партией купца М.А. Сибирякова (нач. партии казак Иван Новицкий).

1866 г. — геологические исследования геолога П.А. Кропоткина в бассейне р. Вача, р. Ныгри.

1868 г. — открытие знаменитых по запасам и содержаниям Бодайбинских россыпей Петром Григорьевичем Аврамовым — уполномоченным М.А. Сибирякова. Это были богатейшие россыпи с запасами в десятки тонн каждая (прииск Рождественский — р. Накатами; Успенский — р. Аканак-Накатами; Мария-Магдалинский; Михайловский; Андреевский, Михайло-Архангельский, Крещенский, Мартовский (по р. Бодайбо).

1870 г. — открытие россыпей р. Энгажимо.

1876 г. — геологические исследования Ленского района А.П. Карпинским.

1878 г. — открытие россыпей р. Тахтыга.

1890–1910 г. г. — геологические исследования Ленского золотоносного района В.А. Обручевым и группой под его руководством (геологи А.П. Герасимов, П.И. Преображенский, А.К. Майстер, В.К. Катульский, А.А. Демин).

1896 г. — первая в России электрическая железная дорога на россыпи р. Ныгри, первая гидроэлектростанция в России.

17 апреля 1912 г. — Ленский расстрел.

Перечень организаций золотодобычи в Ленском районе.

1853 г. — Прибрежно-Ленская Компания, купец А. Мельников.

1865 г. — Прибрежно-Витимская Компания и Компания промышленности в разных местах Восточной Сибири, купцы М.А. Сибиряков, Ин. Трапезников, Базанов, Немчинов.

1846 г. — Дело Трапезниковых, купец Константин Петрович Трапезников.

1867 г. — Мало-Патомское товарищество, купец Чуваев, перешло в 1877 г. в Дело Базилевского, далее в 1896 г. — в Дело Ратькова — Рожкова (до 1917 г.).

1853–1920 г. г. — Ленское золотопромышленное товарищество (Лензолото) основано на базе финансовых махинаций и скупки паев товариществ Павла Баснина, Петра Катышевцева, Николая Кокорина и их наследников семейством Евгения Гинзбурга.

1917 г. — заявлено и зарегистрировано 2000 приисков, из них эксплуатировалось в 1914 г. — 140, в т. ч. Лензолото 14,3 т. (всего в районе — 14,5 т.). Всего в районе за период 1846–1947 г. г. добыто около 900 т. золота.

1921 г. — Гособъединение "Лензолото", ныне АО Лензолото.

Хронология золотодобычи Забайкалья

1653 г. — основание острога Нерча (ныне г. Нерчинск).

1783 г. — основание г. Верхнеудинска (ныне г. Улан-Удэ).

1827 г. — открытие россыпей в бассейне р. Ангары (р.р. Иркут, Куда, Белая, Китой, Нерчинский округ).

1832 г. — открытие мелких россыпей в Нерчинском районе.

1838 г. — открытие богатых россыпей по р. Кара — правому притоку р. Шилка.

1843 г. — открытие поисковыми партиями купцов Разгильдяева и Федченко россыпей Верхнеудинского района.

1844 г. — начало добычи россыпей в Прибайкалье и Баргузинской тайге.

1853 г. — открытие знаменитой Шахтаминской россыпи. Среднее содержание золота в ней составило 1 фунт на 100 пудов песков или около 4 г/м^3. Добыча в Забайкалье составила в 1813 г. 2,8 т. и достигла максимума в 1870–72 г. г. — 7,7 т., при дальнейшем снижении к 1913 г. до 5,3 т. (в т. ч. 4,9 т. из россыпей).

Хронология золотого дела Приамурья

X–XII в. — тунгусская цивилизация, уничтоженная Чингисханом.

1644 и последующие годы — экспедиции Василия Пояркова и Ерофея Хабарова.

1850–1851 г.г. — выявление золотоносности аллювия р. Кукури — притока р. Зеи экспедицией горного инженера Н.Г. Меглицкого.

1857 г. — начало поисков золота в бассейне Амура экспедицией Николая Павловича Аносова. Выявление богатых россыпей р.р. Янкан, Джалинда.

1859–1863 г.г. — выявление россыпей по притокам р. Зея и Селемджа партией Н.П. Аносова и И.В. Баснина (Верхне-Амурский и Малохинганский россыпные районы).

1873–1874 г.г. — разведка богатых (Джалон, до 20 г/т) россыпей Зейского района поисковой партией Верхне-Амурской компании под руководством А.И. Нерпина.

1917 г. — открытие коренного месторождения золота Золотая Гора, которое было отработано до 1923 г. "ямным" способом при среднем содержании 71,4 г/т (1,2 т. золота из 7,2 тыс. т. руды).

1874–1875 г.г. — разведка россыпей Ниманского района партией горного инженера В.Н. Набокова.

1876–1915 г.г. — эксплуатация богатых россыпей с добычей 58 т. золота, а за период освоения с 1868 по 1901 г.г. — 166 т. Из них Верхнеамурская компания — 53%, Соединенная Акционерная — 15%, Ниманская — 15%, Ельцова и Левашова — 1,5%, Дело Я.Ф. Рубинова — 1,5%, Верхнеамурская Г.П. Ларина — 1,5%, Дело П.В. Мордвина — 0,5%; 30 средних фирм — 9%, 140 мелких фирм — 3%. С 1902 по 1922 г.г. добыто еще 116 т. Общий объем добычи с учетом "нелегального" золота по Э.Э. Анерту — 940 т.

1900 г. — образование АО "Драга", развитие драгостроения и дражных работ в России с 1902 г.

1965 г. — выявление "гнездовой" залежи самородков при разведке россыпи Гарь Вторая (бассейн р. Селемджа). Выявлено 743 самородка весом от сотен гр. до нескольких килограммов — 2280, 6840 и 7320 гр.

Хронология золотого дела Приморья

1856 г. — начало золотого промысла в Приохотье, поисковые работы партий Н.П. Аносова, И.В. Баснина, А.И. Нерпина.

1871 г. — начало золотого промысла в Приморье.

С 1874 по 1918 г.г. в Нижнеамурском районе было добыто 58 т. золота. Участвовали компании братьев Бутиных и Тетюкова, Ельцова и Левашова, Семи-Амгунская, Охотская, Амгунская, Амурское товарищество, Ново-Удыльское товарищество, Первое Удыльское товарищество, Дело Мартемьянова, Амур-Орельская, Чурина, Никандская, Тиблинское товарищество, Дело Меделя.

1870 г. — выявление россыпей Амгунского района партией Тетюкова.

1877 г. — выявление россыпей по р. Верхняя Сулака — приток р. Кербь.

1888 г. — выявление россыпей по р. Семи.

1872 г. — открытие и добыча (1874 г.) россыпей на о. Аскольд.

1898 г. — открытие рудных месторождений и рудников Павловский, Мариинский, Аскольдский.

1896–1897 г.г. — установление золотоносности аллювия в бассейне р. Тумнин.

1898 г. — освоение богатой россыпи по р. Токоченга.

1910–1913 г.г. — разведка россыпей среднего и верхнего течения р. Иман по инициативе А.Д. Попова и Ю.И. Бринера.

1896–1897 г.г. — выявление россыпей в бассейне р. Уда, р.Лантара и др. экспедицией К.И. Богдановича.

1912 г. — начало масштабной добычи золота из россыпей в северном районе Приохотской золотоносной области. В течение 3-х лет заявлено 130 площадей, а к 1920 г. — 500 площадей с протяженностью русел рек и ключей более 1600 км. Наиболее крупные компании — П.И. Кольцова и В.А. Фогельмана; Мори; Тютюмова; Михайловского; Пюрингтона, общество "Кооператив" и др. До 1922 г. добыто 41 т. золота.

Хронология золотого дела Колымы

1916 г. — старатель Бориска (Барри Шафигуллин) нашел мелкое месторождение золота на Среднекане.

1926 г. — старатель Ф.Р. Поликарпов обнаружил богатое золото кл. Безымянный (15 км от устья р. Среднекан).

09. 1927–10. 1929 г.г. — Первая Колымская ГРЭ под руководством Ю.А.Билибина и В.А. Цареградского.

10. 1928 г. — организация Верхне-Колымской приисковой конторы Союззолото.

06. 1929 г. — создание приисков Борискин, Юбилейный, Утиный, Среднекан.

06. 1930 г. — Вторая Колымская ГРЭ под руководством В.А.Цареградского. Создание Колымского Главного приискового Управления Цветметзолото.

13.11.1931 г. — создание Дальстроя. Первый директор Э.П. Берзин. Начало массовой золотодобычи.

19.10.1944 г. — по приказу № 516 Дальстроя золотое месторождение в верховьях ключа Наталка (Наталкинское) получает название им. Матросова.

04.01.1946 г. — в Дальстрое действует 48 приисков.

31.08.1950 г. — в промывочный сезон 1950 г. работало 302 промприбора.

12. 1953 г. — образование Магаданской области.

1 июня 1957 г. — создание Магаданского совнархоза, упразднение Дальстроя.

1958 г. — начало золотодобычи на Чукотке и организация новых приисков.

1967 г. — золотодобыча на Чукотке ведется на 12 приисках, в т. ч. им. Билибина, им. Алискерова, Отрожном и др.

1978 г. — начало добычи рудного золота на Карамкенском ГОК'е.

1980 г. — начало добычи серебра на Дукатском ГОК'е.

1985 г. — открытие мосторождения Кубака.

Добыча золота (кг)

1932 г.	1150
1933 г.	795
1934 г.	6811
1935 г.	16323
1936 г.	36482
1937 г.	39160
1938 г.	42102
1939 г.	74609
1940 г.	90587
1941 г.	80000
1942 г.	87399
1943 г.	82840
1945 г.	67154
1946 г.	50305
1947 г.	41271
1948 г.	44022
1991 г.	44430
1994 г.	34113
1995 г. (9 мес.)	23550

Добыча золота за последние годы в Магаданской области и на Чукотке отражена в табл. 5.

Лев Иванович Брусницын и россыпное золото России

В истории русского золота особое место занимает Лев Иванович Брусницын. Положив в 1814 г. начало промышленной эксплуатации россыпей на Урале, он способствовал бурному развитию золотодобычи из россыпей в России.

Л.И. Брусницын, сын уральского штейгера, родился в 1784 г. и с 11 лет начал работу на Екатеринбургских золотых приисках промывальщиком. Незаурядные способности, практические знания, изобретательность и бескорыстие помогали его продвижению по службе.

В 1812 г. он получил чин пох-штейгера за открытие золота в Уфалейских заводах, а с 1814 г. стал руководить всем "золотым производством" Березовского завода. Тщательно изучив опыт старателей-рудознатцев, он пришел к выводу о "богатстве песчаного золота в наших недрах земель". Первая попытка поисков россыпей не дала положительных результатов, в силу методических ошибок. Однако, это не изменило убеждений Л.И. Брусницына, который собственными силами продолжил поиски. Исключительная его наблюдательность позволила заметить различие золотин рудной протолочки и "песчаного золота". Эти наблюдения он сделал, изучая "откидные пески" Петропавловской рудотолчейной фабрики. Начались поиски. Вот как описывает драматическое течение событий сам Л.И. Брусницын [1864]. "При встрече золота, полагаемого песчаным, я немедленно приступил к промывке песков. Предварительно ударил шурф на том месте, откуда были взяты рудные пески, из которых были получены те замечательные два зерна золота; но по углублении на 1 1/4 аршина встретил торф и пеньки дерева. Это показало, что тут был нанос, только откуда он был взят — никто не знал. При пробах песков было получено немного золота, одинакового с теми двумя зернами... Поиски я делать продолжал, только они были безуспешны. Смеялись мне, что я ищу золото в песках. Однако, старик Печерский сообщил, что в старину была здесь проходима для осушения работ штольня, и что землю из нее выносили, кажется, на это место (Петропавловскую площадь). Здесь тогда было болото, по которому оканчивалась речка Березовка, и была мелкая поросль лесу... Я беру из речки на

пробу песку — и что же, какое счастье!, во время накладки еще песку нахожу сам кусок золота в 8 1/2 золотников; промыв же взятый песок, одну бочку в 3 пуда, получаю золота 2 золотника. Эта находка решила все, с ней все сомнения вон.

Таблица 5

Добыча золота (кг) в Магаданской области и Чукотском автономном округе [Золотая пром..., 1995]

Недропользователь	Кол-во недро-пользо-вателей	1994 г. (отчет)	1995 г. (квота по лицензии)	Отчет за 9 мес.	
				1994 г.	1995 г.
Магаданская область					
ОАО "СЕВЕРОВОСТОКЗОЛОТО":	9	19119,7	25384,0	17953,5	11906,8
ОАО "Ягоднинский ГОК"	1	3946,1	3741,0	3782,9	3072,9
ОАО "Оротуканский ГОК"	1	1664,8	2391,0	1604,2	680,2
ОАО "Сусуманский ГОК"	1	4808,8	4988,0	4569,6	3843,6
ОАО "Берелехский ГОК"	1	4335,2	5993,0	4230,9	2301,8
ОАО "Золото Теньки"	1	912,9	2738,0	880,5	138,0
ОАО "Среднеканский ГОК"	1	207,5	1772,0	168,0	78,3
ОАО "Прииск "Экспериментальный"	1	780,7	1632,0	751,2	340,1
ОАО "Рудник им. Матросова"	1	1805,6	1429,0	1458,0	1192,1
ОАО "Карамкенский ГМК"	1	658,1	700,0	508,2	254,8
Дукатский ГОК	1	200,0	965,0	200,0	
Ассоциация "Единство"	9	1140,3	911,0	1140,3	684,0
Ассоциация "Золотая Тенька"	11	819,0	456,0	819,0	1006,0
Артели Среднеканского района	4	1135,5	1220,0	1135,5	763,0
АО "Геометалл"	1	345,0	235,0	345,0	235,0
АО "Геозолото"	1	416,0	534,0	416,0	
АО "Золотосеребряная компания"	1	40,0	120,0	40,0	487,0
АО "Геоцентр"	1	300,0	296,0	300,0	
АО "Эвенскос"	1	840,0	1000,0	840,0	887,0
ЗПК "Колымская"	1	100,0	115,0	100,0	
С/а "Экспедиционная"	1	152,4	109,0	152,4	210,0
АО "Ветренское"		100,0		100,0	250,0
ИЧП "Профиль"	1	212,0	84,0	212,0	280,0
АООТ "Школьное"					220,0
Прочие организации	34	2542,8	3370,0	2542,8	1813,6
ИТОГО	77	27462,7	34799,0	26296,5	18742,4
Чукотский автономный округ					
ОАО "СЕВЕРОВОСТОКЗОЛОТО":	2	2859,0	2500,0	2828,6	1662,8
Комсомольский ГОК	1	2362,4	2000,0	2348,6	1354,4
ОАО "Золото Отрожного"	1	496,6	500,0	480,0	308,4
ОАО "Билибинский ГОК"	1	1745,7	1700,0	1710,8	913,2
ОАО "Полярнинский ГОК"	1	2045,9		1882,9	2232,2
ИТОГО	4	6650,6	4200,0	6422,3	4808,2
ВСЕГО	81	34113,3	38999,0	32718,8	23550,6

По получении золота из песков речки Березовки тотчас же я заложил выкат и по пройдении нескольких сажен вскоре встретил и бывшую штольню. Песок был небогат. Преследуя его вынуть, я тщательно наблюдал за изменением слоев и из каждого особо брал пробы, только все они были с небольшими содержаниями; помню, что на 15

вершках глубины встретил в желтовато-гальковой глине слой сбела серый толщиною от 1 до 2 1/2 вершков, в котором до сделания пробы найден кусок золота в 17 1/2 золотников, а по промывке 5 пудов золота было получено 4 1/2 золотника. Слой этот столько был богат, что местами было видно золото; он обогащал толщину песков до 3 аршин. Исключая его, пески давали не более 36 долей, а с ним — до 5 золотников. По разведкам, сделанным в это время, оказалось, что такой пласт залегал на большое пространство; с этого времени и начата здесь добыча — с 21 сентября по 1 ноября 1814 года было промыто 8000 пудов песков, золота получено 2 фунта 63 золотника, содержанием 3 18/96 золотника на 100 пудов. Из россыпи этой добыто потом золота до 5 пудов/год при работе неустанной". В последующем специальное расследование подтвердило приоритет Л.И. Брусницына в выявлении россыпного золота. По справке Березовской конторы, подписанной маркшейдером Кошкаровым, первооткрывателем также назван Макар Танков (Тонков).

С момента открытия Л.И. Брусницына золотодобыча на Урале начала давать поразительный эффект. К 1.01.1815 г. им было промыто 13000 пудов песков и получено 3 фунта 2 золотника золота. Доказав, что в долинах залегают промышленные скопления металла, Л.И. Брусницын круто изменил направление поисков, разведок и добычи. Кроме того, отказавшись от переработки песков по "рудной схеме", т. е. на рудотолчейных фабриках, он совершил революционный переворот в технологии обогащения, применив прямую промывку песков. Через девять лет после открытия Л.И. Брусницына на Урале действовало около 200 приисков россыпного золота. Оно послужило основой последующего развития добычи на Алтае, в Сибири, Лене, благодаря чему Россия во второй четверти XIX в. стала крупнейшим в мире производителем золота. Труд Л.И. Брусницына вложен в Березовские промыслы, Горноблагодатские промыслы, Чусовские прииски, Невьянские золотые промыслы, многие прииски Сибири. Технические открытия и изобретения Л.И. Брусницына немедленно осуществлялись на практике, способствуя росту добычи металла.

В 1845 г. Л.И. Брусницын "по слабому здоровью с разрешения г-на Главного начальника горных заводов хребта Уральского" уволен вовсе со службы, как самый заурядный низший служащий. В 1835 г. он был произведен в обер-штейгеры, а за тридцать лет безупречного и высокоэффективного труда был пожалован самой низшей наградой — серебряной медалью для ношения на шее. О великая Россия! Ты всегда чтила сынов своих по родству, а не по делам! Умер Лев Иванович 15 января 1857 года. В Санкт-Петербургских Ведомостях за 1875 год, в № 136, в заметке "Внутренняя корреспонденция. Екатеринбург" было написано: "Кто-то из почитателей его заслуг сказал однажды чрезвычайно наивно: Льву Ивановичу, по всей справедливости, следовало получить чин коллежского регистратора, но он не искал этого. Мы же думаем, что он сошел в могилу, если не коллежским регистратором, зато истинным благодетелем тех, которые благоразумно воспользовались его открытием, — и надеемся, что со временем имя Брусницына займет почетное место в истории нашей промышленности, и капиталы, возрождения которых он был виновником, — дадут процент на сооружение памятника русским открывателям золота". Капиталы были, есть и будут получены гигантские, но ни старая Россия, ни новая так и не нашли возможности соорудить памятник своим сынам — первооткрывателям золота.

Добыча россыпного золота в России с 1814 г. стремительно возрастала от года к году. Так, в 1818 г. было добыто 6 пудов 1 фунт 50 зол., в 1822 г. — 25 пудов 2 ф. 17 зол., в 1823 — 31 пуд 2 ф. 87 зол. на Екатеринбургских приисках; в 1824 г. — 2 пуда 26 ф. 26 зол. 37 дол. — на Горноблагодатских; в 1823–1824 г.г. — 15 пудов 9 ф. 21 зол. — на Миасских; в 1823 г. — 9 пудов 33 ф. 63 зол. — на Верхисетских; в 1824 г. — 40 пудов 14 ф. 3 зол. — на Режевских (Яковлевских); в 1823 г. — 24 пуда 20 ф. 67 зол. — на Невьянских; в 1824 г. — 12 пудов 10 ф. 12 зол. — на Касьминско-Кыштымских; в 1824 г. — 44 пуда 36 ф. 81 зол. — на Нижнетагильских

(Демидовских). Всего по Уралу с 1823 по 1833 г.г. было добыто около 3100 пудов, на Демидовских приисках (1823–1841 г.г.) — 580 пудов 22 ф. 35 зол. 70 дол. россыпного золота. Многие прииски отличались исключительным богатством и большим количеством самородков. Так, по свидетельству Отечественных записок за 1825 год, Царево-Александровский прииск Миасса давал "более фунта золота во 100 пудов". При этом 16 июня 1824 г. были подняты "... две самородки: одна весом 7 ф. 39 зол., а другая — 3 ф. 7 зол. Потом 23 сентября найдена самородка весом в 8 ф. 7 золотников. Сверх того получены... несколько других меньшей величины, из коих значительнейшие: в 2 ф. 5 зол., в 2 ф. 90 зол., в 3 ф. 7 зол., в 2 ф. 63 зол., в 4 ф. 39 зол. Сие удивительное соединение золотых сокровищ в одном месте поставило сей прииск наряду со всеми древними и богатейшими рудниками".

Цари России и развитие золотодобычи

Особый вклад в развитие законодательства горного промысла и, в частности, поисков и разработки руд благородных металлов, внес царь Петр I. При нем было отчеканено более 30 видов золотых монет различного достоинства, издано более десятка указов, направленных на организацию золотодобычи. Так, 1.09.1697 г. дан наказ тобольскому воеводе князю Черкасскому "послать досматривать людей добрых, чтоб осмотря и описав, привезли тех руд в Тобольск для опытов..."; 2 ноября 1700 г. "Великий государь указал: для пополнения золота и серебра в своем великого государя Московском государстве... сыскивать золотых, серебряных и медных и иных руд...", в "Горной Привилегии" (10 декабря 1719 г.) в первом пункте говорится: "Соизволится всем и каждому дастся воля, каково б чина и достоинства ни был, во всех местах, как на собственных, так и на чужих землях — искать, копать, плавить, варить и чистить всякие металлы, сиречь — злато, сребро, медь, олово, свинец, железо, також и минералов, яко селитра, сера, купрос, квасцы и всяких красок потребные земли и каменья...". Указом от 18 апреля 1720 г. была организована металлургическая лаборатория при Берг-Коллегии (Я.В. Брюс, П.И. Челищев, Емельян СеЯряков, А. Вейс). Особое внимание Петр I уделял "песошному золоту" из Средней Азии, образцы которого, купленные в Тобольске, доставил в Петербург сибирский губернатор Матвей Петрович Гагарин. По предложению последнего было положено начало Иртышских походов. Подполковник Иван Дмитриевич Бухгольц, купец Федор Трушников, штейгер Филипп Ефремов и другие выполняли указ Петра I "... в краях Сибирских по Иртышу и Сайсан-озеру и в вершинах иртышских сыскивать серебряные и медные и золотые руды и для того в тех местах, где потребно будет построить городы". Так были основаны Омская, Ямышевская, Железненская, Семипалатинская крепости (подполковник Ступин), а в дальнейшем — Усткаменогорская (майор Лихарев) крепость.

Под защитой крепостей на Иртыше в 20-х годах XVIII в. стал действовать Колывано-Воскресенский завод, а в 40-х годах XVIII в. — Главный Змеиногорский серебро- и золотосодержащий рудник. Указами от 31.01.1698 г. и 17.11.1699 г. томскому воеводе Василию Ржевскому предписывалось изучать "рудокопные места", для чего направлялись специалисты — грек Александр Левиандан с помощниками: Симеоном Григорьевым, Спиридоном Манойловым, Андреем Николаевым, Федором Манойловым и другие, всего 10 человек.

Царская фамилия являлась одним из крупнейших владельцев золоторазработок на т. н. Кабинетских землях. Император Александр I считал горный промысел одним из важнейших для государства. Временная горная Комиссия, созданная рескриптом Александра I 6.04.1823 г. под председательством Президента Берг-Коллегии сенатора Владимира Юрьевича Соймонова и при участии членов — начальников горных заводов: Екатеринбургских — О.С. Осипова, Горноблагодатских — Н.Р. Мамышева, Златоустовских — С.М. Татаринова имела целью рассмотрение открытий и умножение

разработки россыпей; методическое руководство поисками коренных месторождений; разработку системы контроля и поощрения добычи. В обязанности комиссии входило:

1. Учет открытых россыпей

2. Составление сводной геологической карты, с разделением россыпей по качеству

3. Разработка способов и техники разведки

4. Поиск коренных месторождений по россыпям

5. Организация партий для разведки под руководством горных офицеров, "искусных в геогнозии и оринтогнозию знающих"

6. Совершенствование способов отработки россыпей, в т. ч. бедных

7. Содействие частным заводчикам в выполнении поставленных выше задач

8. Борьба с хищением самородков

9. Контроль исполнения всех предписаний

10 Еженедельное уведомление министра финансов о ходе работ

Комиссия была наделена правами немедленного исполнения всех решений, не требующих "высшего утверждения". В последнем случае следовало обращаться к министру финансов, который "о сем, так и о делах комиссии доводит до высочайшего сведения Е.И.В". Комиссия провела огромную работу по учету, подсчету запасов, поискам и разведке россыпей на территории всего Урала.

В 1824 г. на основании данных Временной горной Комиссии Правительство издало указ об усилении разработки золотоносных песков (Закон о золоте, 15.07.1824). Министр финансов по представлению Комиссии вносил в Комитет финансов следующие предложения и меры:

1. Развивать геологоразведочные работы;

2. Награждать за открытие, судя по его важности, "каждого работника — 25-100 руб., штейгера — 75-300 руб., горного офицера — по особому усмотрению. При открытии рудника отдельным лицом выдавать последнему от 500 до 5000 руб. или какое-либо другое приличное награждение";

3. Правила награждения в п.2 распространить на изобретение машин и улучшение технологии отработки;

4. Проявления золота, открытые не на частных землях, оставлять в распоряжении казны;

5. Отказаться от использования военно-рабочих команд на казенных заводах;

6. Предоставить право заводчикам ходатайствовать о переводе работников других производств на золотодобычу;

7. Поиски и разработку золота на землях частных заводчиков предоставить единственно владельцам, а других допускать по добровольному соглашению;

8. Для пресечения хищения золота, особенно самородков, промывку и съем золота производить комиссией с записью в шнуровую книгу;

9. Установить премии за самородки: вес до 2 зол. — 20 коп/зол, вес 3 зол. — 30 коп/зол, вес 4 зол. — 40 коп/зол, вес 5 и более зол. — 50 коп/зол.;

10. Предоставить право частным заводчикам сохранять штуфы и самородки в собственность, но весом не более 3 ф. в год;

11. Не давать никаких льгот золотопромышленности по снижению качества переработки руд и песков;

12. Улучшить организацию рудников, ввести на промыслах складные буры и машины, разработать инструкции для поисковых партий;

Под каждым из этих пунктов и сегодня может быть поставлена подпись самого высокого руководителя России.

Таблица 6

Первооткрыватели золотого дела России

№№ п/п	Ф.И.О.	Год, век	Объект
1	Аносов Николай Павлович, исследователь		амурское и дальневосточное золото
2	Антонов Тарас, крестьянин	XVIII	олонецкое золото
3	Арасланов Абдул, башкир	1823	миасское золото
4	Архипов Иван, крестьянин	1804	чусовское золото
5	Бабины Петр и Степан, рудознатцы	1754 1803	Ильинский рудник Крылатский рудник
6	Баснин П.П., купец	1853	ленское золото
7	Бекетов Леонтий, берггершворен	1752	ишлово-катское золото
8	Бердников, крестьянин	1823	черемшанское золото
9	Брусницын Лев Иванович, обер-штейгер	1784-1857	основоположник добычи россыпного золота в России
10	Бузанов, крестьянин	1804	чусовское золото
11	Васильев, солдат	1805	верхнеуральское золото
12	Владычин Степан, мастер	1756	березовское золото
13	Волков, рудокопщик	1798	киселовское золото
14	Волхин Родион, казак	1799	кочкарское золото
15	Елкин, старшина	1787	золото по р. Ляле
16	Ентальцев петр, рудопромышленник	1773	золото по р.р. Вагран, Салда, Юрей
17	Еремин, мастеровой	1799	сисертское золото
18	Зырянов, штейгер	1804	чусовское золото
19	Иванов, казак	XVIII	оренбургское золото
20	Иванцов Данила, казак, унтер-офицер	1797	киселовское золото
21	Картышевцев П.И., купец	1853	ленское золото
22	Кованко, шихтмейстер	1797	североуральское золото
23	Кожевников, мастеровой	1797	сысертское золото
24	Кокорин И.С., купец	1853	ленское золото
25	Комаров Егор, мастеровой	1775	Комаровский рудник
26	Коряков Семен, штейгер	1823	Ключевская россыпь
27	Крылатков, крестьянин	1803	чусовское золото
28	Крылатков Петр, крестьянин	1804	2-ой Крылатковский рудник
29	Кузнецов, купец	1873	кунгурское золото
30	Лесной Егор, крестьянин	1827	берикульское золото
31	Марков Ерофей, крестьянин, раскольник	1745	первое уральское-березовское золото
32	Мохов, мастеровой	1804	Моховский рудник
33	Папуловский, штейгер	1823	миасское золото
34	Поздеев, бомбардир	нач. XIX	уфалейское золото
35	Полевин, крестьянин	1797	невьянское золото
36	Пономарев Дементий, штейгер	1823	Больше-Кувшинский прииск
37	Попов, солдат	1797	оренбургское золото
38	Посников Григорий, рудопромышленник	XVIII	золото Сев. Урала
39	Пушкин, лаборант	1804	чусовское золото
40	Роговин, крестьянин	1804	чусовское золото
41	Романовский Кирилл, унтер-штейгер	1755	Небогатый рудник
42	Свиридов, шихтмейстер	1823	миасское золото
43	Сторожев Иван, унтер-штейгер	1766	Нагорный рудник
44	Стуков, мастеровой	1799	белоярское золото
45	Танков (Тонков) Макар	1824	первые россыпи Урала
46	Трапезников Константин, купец	1843	ленское золото
47	Ушаков, старатель	1827	Черемшанский прииск
48	Фоминых Спиридон, казак	1799	кочкарское золото
49	Хрептиковы Акинфий и Василий, мещане	1795	нижне-тагильское золото
50	Чернышев Яков, штейгер	1772	Лиственничный рудник
51	Шектаев Федор, мастеровой	1823	Лебяжинский прииск
52	Шевцов Семен, крестьянин	1757	Становской рудник

Таблица 7

Первые исследователи и изобретатели в области техники, технологии и аналитики золота

№№ п/п	Ф.И.О.	Год, век	Область
1	Агте А.А.	XIX	промывальная машина
2	Аносов Павел Петрович	1797-1851	геология, металлургия, обогащение
3	Архипов Александр Николаевич	XIX	технология переработки
4	Багратион Петр Романович	1818-1876	изобретатель цианирования
5	Белоногов	1859	улавливание мелкого золота
6	Брусницын Лев Иванович	1784-1857	открытие и переработка россыпного золота
7	Быков	1835	золотопромывальная машина
8	Варвинский Иов Игнатьевич	1797-1838	исследование руд
9	Гавеловский	1832	золотопромывальная машина
10	Грамматиков	1795-1797	способ промывки золота
11	Гридин Василий	1772	изобретатель трехярусных вашгердов
12	Евреинов П.	XIX	исследование соединений золота и платины
13	Засухин	1857	изобретатель мутильных чаш и золотопромывальной машины
14	Китаев Егор	1823	золотопромывальная машина для песков
15	Клейменов В.	1853	золотопромывальные приспособления
16	Кожевин Козьма	1764	обогащение руд
17	Кокшаров И.	1824	золотопромывальная машина
18	Кольцов Леонтий	1849	самопромывочный гидроргутный станок
19	Лешедко	XIX	магнитный вашгерд
20	Лопатин	1858	изобретение песковоза
21	Любарский Василий Васильевич	1795-1852	технология переработки руд золота и платины
22	Мечников Евграф Ильич	XVIII-XIX	способ разделения золота и серебра
23	Мокеев	XVIII	основатель аффинажа золота в России
24	Мусин-Пушкин Аполлос Аполлосович	1761-1805	основатель науки о платине и ее спутниках
25	Кожевников Ерофей Данилович	XVIII	обработка сплавов серебра и золота
26	Окладных	XIX	промывально-амальгационная установка
27	Пакулев	1856	гидравлический способ разработки песков
28	Пирогов Иван	1772	изобретение нового способа опробования золотых шлихов
29	Ползунов Иван Иванович	1729-1766	паровая машина на заводах Урала
30	Порозов	1834	промывальная машина и технические средства опробования песков
31	Раздеришин	XVIII	золотопромывальные машины разных типов
32	Рюмин Ермолай	1747	пробирный мастер, первым установивший золото в пробах с Урала
33	Соколов Дмитрий Иванович	1788-1852	геолог, исследователь россыпей
34	Татаринов С.	1823	испытание новых технических средств переработки руд и песков
35	Хвощинский	XIX	технология амальгамирования
36	Чадов	XIX	технология амальгамирования
37	Черепанов Ефим Алексеевич	XIX	золотопромывальные машины разных типов
38	Черепанов Мирон Ефимович	XIX	машины на заводах по переработке руд
39	Шабунин	1854	извлечение золота сухим (воздушным) способом
40	Эльснер Л.Э.	1846	изучение поведения золота при цианировании
41	Ярин	1843	вашгерд с амальгамацией
42	Ярцев Аникита Сергеевич	1737-1819	историк горного дела России

II. Экономические сведения

1. Оценка добычи

Существует много оценок мировой добычи золота, где наиболее существенны расхождения по ранним периодам [Quring, 1948]. Эти данные опубликованы в трудах видных мировых экспертов — Д.А. Преториуса, Д. Эттериджа, П. Каваны, Г.И. Щрайбера, Д.Р. Кука, Дж.Р. Фишера, К.Г. Сазерленда, С. Квиринга, П. Сарноорфа, С.М. Борисова, Ф. Фриденбурга, А.С. Аникина Е.М. Некрасова и др. Общая оценка добычи дана в таблице 8. По различным оценкам указанных выше и других авторов (по состоянию на 1980 г.) общая структура добычи такова: Виттватерсранд — 36000 т, 15 крупнейших рудных полей — 9575 т, 35 крупных рудных полей — 4900 т, 3500 средних и мелких месторождений — 16245 т, 10000 мелких и очень мелких месторождений — 8000 т. Кромс того, россыпи дали 11000 т и комплексные месторождения — 15000 т золота. Среднестатистические размеры коренных месторождений различной крупности такова: уникальное — 6000 т и более, крупнейшее — 600 т и более, очень крупное — 400 т и более, крупнос — 150 т, среднее — 75 т, мелкое — 10 т, очень мелкое — менее 1 т.

Таблица 8

Суммарная мировая добыча золота (в тоннах)

Стороны света и страны	Периоды золотодобычи								
	Древний мир (до 500 г.н.э.)	Средние века (501-1492)	1493-1600 г.г.	XVII в.	XVIII в.	XIX в.	1901-1940 г.г.	1940-1980 г.г.	1981-1994 г.г.
Европа	3970	571	184	123	133	2207	1400	599	80
Азия	2102	903	125	167	161	663	2001	1530	700
Африка,	4185	838	265	214	237	863	12324	26534	11110
в т.ч. ЮАР	-	-	-	-	-	666	10783	25448	9880
Америка,	-	160	330	604	1623	5108	8551	8857	2935
в т.ч. США	-	-	-	-	-	3589	4353	2088	662
Австралия и	-	-	-	-	-	3462	2535	1472	805
Океания						3006	2116	1071	505
в т.ч. Австралия	10257	2472	904	1108	2154	12303	26811	38992	26677
СССР - Россия	(XVIII - 1995) - 10 000 т								
ВСЕГО	130 000 т								

В истории золотодобычи очень характерными являются бумы и лихорадки. Обычно они происходят за счет выявления новых районов, новых типов месторождений. Золотой бум времен Римской империи связан с добычей в Испании (Иберии), в XIII в. — с Ганой (Золотой берег), в XVI–XVII в.в. — с Колумбией и Боливией, в XIX в. — с Бразилией. В 1831–1840 г.г. треть мировой добычи давали россыпи России (Урал, Сибирь). В 1848 г. вспыхнула золотая лихорадка в Калифорнии (США), в 1851 г. — в Балларате (Австралия). В 1886 г. были открыты месторождения Виттватерсранда (Рэнда). На р. Вааль близ фермы Остхейзен в 1886 г. добыта 1 т золота, а в 1889 г.

— 117 т, в 1913–274 т. В 1896 г. разразилась лихорадка Клондайка, в 1934 г. — Колымы, в 1983 г. — Сьерра Пелада (Бразилия). В таблице 9 отражены некоторые экстремумы мировой добычи, связанные с открытиями новых богатых источников и политическими событиями.

Таблица 9

Экстремумы мировой добычи золота

№№ п/п	Год	Добыча, т	Причина роста или упадка
1	1848	43,9 (+)	Отработка россыпей России
2	1850	110,4 (+)	Освоение россыпей Калифорнии
3	1853	224,9 (+)	Освоение россыпей Австралии
4	1895	299,3 (+)	Освоение Ранда
5	1899	461,5 (+)	Освоение Ранда
6	1900	389,5 (-)	Англо-бурская война
7	1910	684,2 (+)	Освоение россыпей Аляски
8	1920	501,7 (-)	Революция в России
9	1940	1165 (+)	Стабилизация доллара
10	1945	654 (-)	Вторая мировая война
11	1970	1285 (+)	Стабилизация валюты
12	1980	946 (-)	Возрастание роли нефтедолларов
13	1984	1148 (+)	Повышение цены золота
14	1988	1000 (-)	Снижение значения валютного металла
15	1990	1600 (+)	Рост ювелирного спроса и тезаврации, технические нужды

Примечание: (+) - максимум, (-) - минимум

Очень важным выводом из анализа истории открытий и добычи золота в США, Канаде и Австралии является заключение о том, что от 65 до 75% объема золотодобычи приходится на крупные месторождения. Мировая статистика (даже без учета Ранда) дает аналогичную картину. На этих объектах достигнута высочайшая концентрация капитала, реализована современнейшая технология добычи и переработки руд. Так, 1000 т. золота в год в ЮАР обеспечивают шесть компаний: Англо-Америкэн корпорейшн оф Саут Африка; Англо-трансваал консолитейтед Инвестимент Компани; Дженерал майнинг юнион корпорэйшн; Голдфилдз оф Саут Африка; Иоганесбург консолитейтед инвестимент компани; Раад майнз. Вот — однозначный ответ на вопрос "как развивать золотую промышленность?".

2. Накопление золота

Великая страна древности — Египет был важнейшим центром накопления золота. Бесчисленные войны против Египта, имевшие целью захват его золотых запасов, никого не привели к успеху. Даже великий Саргон Аккадский (XXIV в. до н.э.), захвативший Месопотамию, Восточное Средиземноморье, часть Галисии, не смог победить Египет. Только ассирийский царь Ассархаддон в VII в. до н.э. разграбил Египет. Его сокровища в Ниневии через сто лет захватили вавилоняне. Однако, во второй половине VI в. до н.э. персидский царь Кир разграбил Вавилон. Все золото мира скопилось в VI в. до н.э. у владык Персии! Их разгромил Александр Македонский. По данным Диодора Сицилийского в трех столицах Персидской державы — Персеполе, Экбатанах, Сузах было захвачено 340000 талантов золота и серебра, т. е. более 1000 т. Возникла

колоссальная концентрация золота! После смерти Александра Македонского все это золото растеклось по Средиземноморью, Египту, Передней и Средней Азии.

Новый центр накопления золота возник в Риме во времена Римской империи, особенно после завоевания Испании, Галлии, Египта, Балкан. Эта концентрация золота в Европе была пополнена во времена конкисты — завоевания Южной Америки испанцами и португальцами. По свидетельству Бартоломе де Лас Касаса тонны золота и десятки тонн серебра были вывезены в Европу.

Общая оценка сегодняшнего накопления золота в мире составляет 90000 т., из них: централизованные запасы — 35000 т., частные накопления — 25000 т., золото в изделиях — 30000 т.

По состоянию на 1.1.1982 г.г. золотые запасы капиталистических стран и международных организаций составляли 35564 т., СССР (оценка Преториуса — 2200 т.).

Промышленно развитые страны — 24486 т., из них: США — 8213, ФРГ — 2960, Швейцария — 2590, Франция — 2546, Италия — 2073, Нидерланды, Бельгия — 1063, Япония — 754, Австрия — 657, Великобритания — 591, Развивающиеся, нефтепроизводящие — 1307, Развивающиеся прочие — 3546, МВФ (Международный Валютный фонд) — 3217, ЕФВС (Европейский фонд валютного сотрудничества) — 2665, БМР (Банк международных расчетов) — 226, итого — 35564 т.

Эти запасы хранятся, в основном, в трех крупнейших хранилищах: в Нью-Йорке, Манхэттен, США (12000 т); в Форт-Ноксе, Кентукки, США (6000 т), в Париже, близ Пале Рояля в подвалах Банка Франции (4800 т).

Частные тезаврационные накопления составляли на 1.1.1980 г. 25000 т (1979 г. по Ф. Пику — 25,4 тыс. т). Они распределены следующим образом: Франция — 6300 т, Остальная Европа — 2000 т, Ближний и Ср. Восток — 1600 т, Индия — 3700 т, США — 3700 т, прочие страны — 1900 т

3. Торговля золотом

Торговля осуществляется золотыми дилерами. Основной объем торговли осуществляют 20 крупных торговых фирм, среди которых наиболее известны пять фирм Лондонского рынка: Н.М. Ротшильд энд санз лимитед; Мокатта энд Голдсмит; Шарпс Пиксли лимитед; Джонсон, Маттей энд компани; Самюэл Монтегю энд компани. В здании банка Ротшильдов происходит ежедневная процедура фиксинга — установления ориентировочной цены золота. Лондонский рынок — самый могущественный в мире. Здесь совершаются крупные операции. Так, 13 марта 1968 года за один день было продано 175 т, а 14 марта — 225 т золота.

Другой рынок образует большая тройка швейцарских банков: Швейцарское банковское общество, Швейцарский кредитный институт, Швейцарский банковский союз. Объем продаж на этом рынке также весьма значителен. Нью-Йоркский и Чикагский рынки представлены фирмой Филипп Бразерс (в рамках концерна Энгельгард минералс энд кемиклс корпорейшн), Республиканским национальным банком Нью-Йорка и Джю Арон энд компани. Кроме того, функционируют Парижский, Кувейт-Дубайский, Сингапурский и Гонконгский рынки.

В 1970 г. в десяти странах мира были разрешены свободные операции с золотом. Это — ФРГ, Швейцария, Нидерланды, Канада, Парагвай, Ливан, Саудовская Аравия, Кувейт, Дубай, Макао. Затем запреты были отменены в США, Англии, Японии, Сингапуре, Гонконге.

В настоящее время свободная торговля золотом расширяется во всем мире.

Среднегодовая биржевая цена на золото в период 1983–1996 гг. изменялась от 10,2 долл/г до 14,37 долл/г. Промежутки между максимальными и минимальными уровнями цен составляют 6-8 лет. Средняя длительность подъема и спада цены до

экстремума 4 и 4,5 года. Прогнозируемая цена на 90-е годы — 12 ± 2 долл/г представляется оптимальной. Это не исключает искусственно создаваемых скачков от 10 долл/г до 20 долл/г (рис. 1).

4. Потребление золота

Помимо валютно-финансовых операций и тезаврациации золото широко используется в ювелирной промышленности. Так, в период с 1860 по 1913 г.г. на ювелирные изделия израсходовано 22% общего объема добычи этого же периода. С 60-х годов нашего столетия первое место по производству ювелирных изделий прочно занимает Италия, где крупнейшей фирмой является "Гори и Зуччи" (г. Ареццо близ Флоренции). Структура потребления золота дана в таблице 10.

Таблица 10

Потребление золота в мире (в т.)

№№ п/п	Отрасли	Годы					
		1988	1989	1990	1991	1992	1993
1	Промышленность, в т.ч.	1923	2312	2440	2543	2675	2493
	ювелирная	1532	1907	2037	2111	2461	2340
	электронная	133	137	148	147	92	106
2	Тезаврация слитков	461	514	235	261	288	195
3	Стоматология	51	51	51	51	нет дан.	нет дан.
4	Страхование	-	-	-	11	-	14
5	Госзакупки	285	40	66	104	171	112
6	Чеканка медалей	19	19	19	19	12	14
7	Чеканка монет	129	135	117	120	178	176
Всего		2659	2826		3102	3182	3348

Применение сплавов золота

Сплавы золота широко применяются в различных областях деятельности человека [Малышев и Румянцев, 1979; Потемкин, 1988].

1. **Сплавы для электрических контактов.** Золото и его сплавы широко применяются при изготовлении контактов в слаботочной технике. Существует три группы контактов: неразъемные, подвижные (нажимные или разрывные), скользящие. Для контактных материалов используются сплавы: Au-Ag, Au-Ag-Pd, Au-Ag-Pt, Au-Pd, Au-Zr, Au-Ag-Cu, Au-Pt, Au-Pd-Pt, Au-Ni, Au-Ag-Ni, Au-Cu-Zn (память формы), Au-Ag-In, Au-Cu-In, Au-Co, Au-Co-In, Au-Ag-Zr, Au-Ga, Au-Cu-Cd, Au-Sb, Au-Ag-Sb, Au-ThO_2, Au-Al_2O_3, Au-TiO_2.

2. **Проводниковые материалы.** Золото в виде покрытий на стекле, керамике, кварце, а также проволоки используется в электронных устройствах, полупроводниковых элементах, микросхемах для передачи электрического тока. Для повышения механических свойств при повышенных температурах используются сплавы Au-Ga, Au-In, Au-Pt, и упрочненное золото — Au-W, Au-Al_2O_3, Au-ThO_2, Au-Ru, Au-Zr.

3. **Резисторы.** В измерительной и контрольной аппаратуре широко применяются проволочные потенциометры для преобразования линейного или углового перемещения в электрические импульсы. Для этих целей используются сплавы Au-V, Au-Cr, Au-Co, Au-Pd, Au-Pd-Mo, Au-V-Pd, Au-Pd-Fe.

4. **Сплавы для измерения температуры.** Термопары и термометры сопротивления широко используются в промышленности и науке. Для термопар применяются сплавы Au-Pd, Au-Pd-Pt-Ir+Rh (область высоких температур) и Au-Co+Ag-Au, Au-Co, Au-Mn+Au-Fe, Au-Fe+Ag-Au, Au-Co-Cu (для низких и сверхнизких температур).

5. **Припои на основе золота.** В производстве электронно-вакуумных ламп, вакуумных приборов, ядерных установок, реактивных двигателей, космической аппаратуры роль золотых припоев очень важна. Припои Au-Cu наиболее применимы в электронной промышленности. Для особо прочной пайки применяются Au-Ni припои с присадкой Cr (космическая и ракетная техника). Для специприпоев используются сплавы Au-Ga, Au-B, Au-Zn, Au-Si, Au-Ge.

6. **Ювелирные сплавы.** Это наиболее древняя область применения сплавов. В настоящее время обычно применяется сплав Au-Ag-Cu с добавкой Zn, Co, Pd.

Состав сплавов по золоту определяется различными системами. Так, в метрической системе это — промиля, принята в большинстве стран. Однако, в США, Великобритании, Швейцарии принята каратная система, где чистое золото соответствует 24 каратам. В СССР наиболее распространены для ювелирных целей сплавы проб 750, 583 и 375, в Зап. Европе и на Ближнем Востоке — 333; в США и др. странах — 18-и, 14-и, 12-и и 10-и каратные сплавы.

Цвет сплавов золота зависит от состава. Обесцвечивают золото Ni, Pd, Zn, Ag, Mn, Gn, красный цвет различных оттенков дает Cu; пурпурных — Al; голубой — Zn; зеленый — Ag. Лучшими декоративными и технологическими свойствами обладают сплавы ЗлСрМ 750-125 и ЗлСрМ 750-150. Первый обладает ярко-желтым с розоватым оттенком, второй — зеленовато-желтым цветом.

7. **Стоматологические сплавы.** В зубоврачебной технике применяются сплавы, обладающие высокой коррозионной стойкостью в сочетании с высокими механическими свойствами. Разработано очень большое число сплавов, которые подразделяются на литейные, деформируемые и припои. Наиболее характерны четыре типа литейных сплавов (Таблицы 11, 12).

Таблица 11

Сплавы цветного золота

	Состав, отн. %%						
Тип	Au	Ag	Cu	Pd	Pt	Zn	Твердость
I	86,1	8,6	4,2	0,7	0,2	0,2	мягкий
II	78,5	11,5	7,5	1,1	1,0	0,4	средний
III	76,0	9,8	9,7	1,8	2,1	0,6	твердый
IV	69,3	11,1	12,4	3,1	3,1	1,0	особотвердый

Таблица 12

Сплавы белого золота

Состав, отн. %%						
Тип	Au	Ag	Cu	Pd	Pt	Ni
Твердый	65-70	7-12	6-10	10-12	4	1-2
Особотвердый 1	60-65	10-15	9-12	6-10	4-8	1-2
Особотвердый 2	28-30	25-30	20-25	15-20	3-7	0,5-1,5

Им соответствует четыре группы твердости. Помимо сплавов цветного золота используются также сплавы белого золота.

Производство полуфабрикатов из золота и его сплавов

Отливка слитков методом непрерывного литья. Сплавы по их литейным свойствам разделяются на три группы:

•малолегированные с узкими концентрационными и температурными интервалами кристаллизации. Это — двойные сплавы золота с серебром, медью, платиной, никелем, кобальтом, железом.

•со средним температурным и концентрационным интервалом кристаллизации. Это трехкомпонентные сплавы Au-Ag-Cu.

•с широким температурным и концентрационным интервалом кристаллизации. Это — все припои с цинком, кадмием, оловом и многокомпонентные сплавы.

Вредными примесями являются свинец, теллур, висмут, которые существенно изменяют физические свойства сплавов.

Производство полуфабрикатов. Существует большое количество полуфабрикатов, изготавливаемых различными способами. Среди них наиболее распространены методы листовой и рулонной прокатки, прессования и волочения. Наиболее важными производствами являются:

•производство микропроволоки диаметром от 20 до 1 мкм;

•производство обручальных колец;

•производство трубных заготовок.

Производство многослойных материалов. Многослойные материалы пользуются широким спросом в технике и других отраслях (ювелирное дело, монеты и др.). Плакированные золотом сплавы широко применяются в ювелирном производстве для изготовления украшений. Производство термобиометаллов — важная область промышленного применения многослойных материалов. В связи с этим возникло новое понятие "металл-система", реализованное на выпуске монет во Франции. Широко развито производство на этой основе электрических проводников, штепсельных разъемов, интегральных переключающих схем, электронных ламп, контактных пружин и полос.

Монеты

До появления монет эквивалентом обмена служили бобовидные слитки весом один талант[1] (21 г.) и один статер[2] (золотой статер — 8,1 г., серебряный — 10,8 г.). Они были найдены в погребениях XIII в. до н.э. близ Саламина (Кипр). Первая датированная монета — Статер из электра Гигеса выпущен в 687–654 г.г. до н.э. царем Лидии Гигесом. Далее в хронологической последовательности идут статеры Элиата, Филиппа II, Александра III, Деметрия II, Полиокрета (306–283 г.г. до н.э.); статер Андрагора (250 г. до н.э.); статер Диодора (ок. 250 г. до н.э.); октодрахма Арсинои III (241–221 г.г. до н.э.); 20-статеровая монета Евкратида; двойной динар Кадфиза; четверть динара, полудинар, динар Васудевы, динар Чувишки Великих Кушан (II–III в. до н.э.); Мохур Акбара (1558–1605 г.г.), 20-мохуровая монета Схан-Яхана (Индия).

В Европе в доримский период известны кельтские подражания статеру Филиппа II у гельветов (Швейцария), Паризиев (район нынешнего Парижа), треверов (район г. Трира), брититов, бойев. В древней Европе в обращении были "радужные чашечки" — мисковидные монеты-статеры. Известны грузинские подражания статеру Александра III Македонского. В Римской империи выпускались ореусы-римский (1,2 г, 207 г. до н.э.), Августа (8,19 г), Цезаря (8,19 г), Нерона (8 г, 60 г. до н.э.), Домициана (4 г, 90 г. н.э.), Константина (4,55 г, другое название — солид). Далее, в средневековой Европе и на Ближнем Востоке были выпущены: монета Леовигильде (578–586 г. н.э.), солид Феодосия II (12 г, 408–450 г. н.э.), динар Гарун ар Рашида (786–809 г. н.э.), динар Абу

[1] талант - чашка весов
[2] статер - коромысло весов

Бекра (1056–1087 г.г.), августал Фридриха II, флорины (1252 г.г., Флоренция), дукаты=цеккины=цехины (3,5 г, 1285 г., Венеция), гульдены (3,5 г., Германия) Мохур Акбара (1558–1605 г.г.), Португал (10 дукатов, 1471 г.), тари (г. Бриндизи), рейсхгульдены (1559 г., Германия), экксленц (Испания), гинея (Англия), фунт=соверен (Англия), ранд и крюгерранд (ЮАР) и др.

В России первой золотой монетой был златник Владимира I (X в. н.э.), а затем — златники Святополка и Ярослава (начало XI в. н.э.). В XV в. был выпущен "угорский" червонец Ивана III, затем червонец XVII в. золотая копейка Василия Шуйского (1610–1613 г.г.), двухрублевик Петра I (1718 г.), червонцы Петра I (1738 г.), Елизаветы (1743, 1744, 1746, 1749 г.г.); 20, 10, 5,2 и 1 рубль, полтинник Екатерины II и Петра III (1755, 1756, 1759 г.г.), полуимпериал Павла I (1796), пятирублевик Александра I (1803–1805, 1807, 1819, 1822-1825 г.г.), пятирублевик Николая I (1832 г.), голландский червонец (1849 г.), трехрублевик (1869 г.) и 25-рублевик (1876 г.).

Первый советский червонец (7,7 г) выпущен в 1923 г.

В 1977 г. в СССР была выпущена 100 рублевая монета 900 пробы (17,28 г) с эмблемой Олимпиады-80 (тираж 130 тыс. штук); в 1978 г. — 100 рублевая монета 900 пробы (17,28 г) Лужники, гребной канал в Крылатском (по 130 тыс. штук); 1980 г. — 100 рублевая монета 900 пробы (17,28 г) Олимпийский факел (130 тыс. штук), 13 сентября 1988 г. — 50 рублевая монета 900 пробы (7,78 г) Софийский собор в Новгороде (25 тыс. штук); 13 сентября 1988 г. — 100 рублевая монета 900 пробы (15,55 г) Златник Владимира (14 тыс. штук). Все перечисленные монеты имеют нумизматическое значение и цену, превышающую номинал в тысячи раз.

Самыми большими по весу известными золотыми монетами, когда-либо выпущенными для хождения, являются 20-статеровая монета Евкратида (170 г), 20-мохуровая монета Схан-Яхана (ок. 220 г), "двойной орел" 20-долларовая монета США (30,093 г), сентенарио — 50-песовая монета Мексики (37,5 г), Португал — 10-дукатовая монета Португалии (35 г), крюгерранд ЮАР (31,5 г), "кленовый лист" Канады (31,4 г). Некоторые данные о золотых монетах приведены в табл. 13.

Таблица 13

Золотые монеты мира

№№	Название	вес, г.	Проба, ‰	Страна	Год, век	Примечание
1	Августаль	5,24	875	Римская Империя г.Мессина г. Бриндизи	1231	в честь Фридриха II Августа
2	Августдор (двойной августдор, полуавгустдор	6,20	(920)	Саксония	1752	в честь курфюрста Августа Фридриха
3	Альбертин (двойной альбертин)	2,929	791	Испанские Нидерланды	1599	в честь Альберта–наместника испанского короля Карла V и королевы Изабеллы
4	Амани (5, 2, 1/2 амани)	4,6	891	Афганистан	XII–XIX	-
5	Амброзино	3,5	-	Италия	XIII–XV	в честь покровителя г. Милан Св. Амвросия
6	Амедеодор			Италия	1630	в честь герцога Виктора Амедея
7	Анжедор	7,6–4,8	978	Франция	1341	в честь архангела Михаила
8	Ауреус (1/2 и 1/3 ареуса, многократные ареусы)	8,19–5,15		Римская Империя	395 г. до н. э.	-
9	Боливар (100, 50, 25, 5 боливар)	32,258	900	Венесуэла		в честь Симона Боливара

Таблица 13 (продолжение)

№№	Название	вес, г.	Проба, ‰	Страна	Год, век	Примечание
10	Брод, бродние	9,1	916	Англия	XVII	
11	Гинея (5, 2, 1/2 и 1/4 гинеи)	8,47–8,387	916	Англия	1663	в честь страны Гвинеи
12	Гульден	3,5–2,5		Германия	XIV–XVI	-
13	Гульден нидерландский (10 и 5 гульденов)	0,6048	800	Нидерланды	1920	-
14	Давидстрювер (золотой флорин, золотая арфа)	-	-	Голландия	XV	в честь Давида Бургундского
15	Дарик (лучник)	8,4	980	Персия	522 г. до н.э.	в честь царя Дария
16	Динар	4,25 (2,35–20,85)	990	Дамаск	969 г. н.э.	-
17	Добла (1/2 и 1/4 доблы, 10 и 20 добл)	4,6		Испания		монета короля кастилии Альфонса XI (добла Кастеллана)
18	Добра	4,6; 7,1; 28,69	989,6 916	Португалия	XIV–XVIII	в честь короля Педро I
19	Доппьетта	3,211	892	Италия	1768	-
20	Драхма	2,91–6,07	-	Греция	до XII	-
21	Дублон (двойной золотой эскудо)	13,5	917–906–866	Испания	XV	4 эскудо (онза де ора, песо дуро де оро)
22	Дукат (цехин)	3,5	980	Венеция	XIII	-
23	Дукат речного золота			Германия	XVIII–XIX	из золота аллювия рек Германии
24	Дукат золотой (альфонсино)	10,5	-	Неаполь		в честь короля Альфонса I Арагонского
25	Жуан	13,48	-	Португалия	1722	в честь короля Жуана I
26	Златник	4,2	-	Киевская Русь	972	-
27	Золотой рубль (1/2, 2, 3 рубля)	0,774	-	Россия	1756	-
28	Золотой экю экю–щит поздние выпуски: шездор, мутондор	4,0–3,54–7,0	963		XIII	
29	Игл (10 долларовая монета)	17,495	916,66	США	1792	
30	Иена (5, 10, 20 иен)	1,66	900	Япония	1870	-
31	Империал	12,3	900	Россия	1755	
32	Каридор	7,5		Бавария		
33	Карлино (самот)	4,4		Италия, Неаполь, Сицилия	XIII и XVIII	
34	Каролюсдор	3,24	654	Нидерланды	1517	
35	Кондор	15,25	900	Чили	1851	
		8,136	900	Колумбия	-	
		7,3224	900	Эквадор	-	
36	Короа	9,56	916	Португалия	1822	
37	Крона австрийская (10 и 20 крон)	3,388	900	Австрия	1892	
38	Крона английская	3,11	916	Англия	1526	
39	Крона немецкая	3,982	900	Германия	1871	
40	Крузадо	3,99	942	Португалия	1438	
41	Курантдукат	2,86	875	Дания	1714	
42	Лайон Ноубл	5,1	900	Шотландия	1584	
43	Леопард	3,5	990	Англия	XIV	
44	Леопольдино	32,58	900	Италия, Тоскана	XIX	
45	Либра перуанская	16,1	900	Перу	1863	
46	Лорел	8,71	916	Англия	XVII	

Таблица 13 (продолжение)

№№	Название	вес, г.	Проба, ‰	Страна	Год, век	Примечание
47	Луидор	7,28	916	Франция	1640	
48	Мараведи	3,866	895	Испания, Португалия	1087	
49	Марка (5, 10, 20 марок)	7,96	900	Германская империя	XVIII	-
50	Могур (мохур) (2, 1, 2/3 и 1/3 мохура)	11,664	916,66	Индия	1562	-
51	Наполеондор	6,45	900	Франция	1803	в честь Наполеона I
52	Нобль разновидности–розенболь, энджел	9,97	990	Англия	1344	
53	Ом	6,94	990	Фландрия	XIV	-
54	Ончетта	3,787	966	Италия	1818	-
55	Павильондор	5,1	-	Франция	XIV	-
56	Пагода	3,4	794	Индия	V	-
57	Паризидор	7,42	990	Франция	XIV	-
58	Пистоль (двойной золотой эскудо)	6,2		Испания	XVI	-
59	Понд			Республика Трансвааль и Оранжевая	1899	-
60	Пьетердор	4,06	990	Англия	1375	в честь Святого Петра
61	Рейдер	5,18	-	Шотландия	XV	-
62	Райэл (роузнобл)	7,63	916,66	Шотландия	XVI	-
63	Руспо	3,487	-	Флоренция	XVIII	-
64	Салют	3,85	999	Франция	XIV	-
65	Скудо	-	-	Италия	1495	-
66	Соверен	от 15,55 до 7,9889	995	Англия	с XV	-
67	Солид	4,55	990	Римская империя	306	-
68	Статер Креза	10,8	990	Лидия	541 г. до н.э.	в честь царя Лидии Креза
69	Тари	0,883	400	Италия	XI	-
70	Унция	8,8	875	Неаполь	XVIII	-
71	Червонец	3,4	950	Россия	1701	-
72	Филиберто	28,0	993	Савойя	1561	в честь герцога Савойского Эммануила Филиберто
73	Фридрихедор	6,005	-	Пруссия	1740	-
74	Флорин	3,537	990	Флоренция	1252	
75	Эйджел (нобль)	5,184	995	Англия	1470	в честь архангела Михаила
76	Энженозо	3,825	915	Португалия	XVI	-
77	Энрик (1/2, 2,5, 10, 20 и 50 энрике)	4,6		Испания	XV	в честь короля Кастилии Энрико IV 50 энрике–вес 229 гр., диаметр 90 мм.
78	Эскудо (1/2, 2, 8 эскудо-онсы)	3,38	930	Испания	1537	-
79	Юнайт	10,03	917	Англия	1603	-
80	Юникорн	3,81	874	Шотландия	XV	-

5. Будущее золота

Подавляющее большинство экспертов мира 70-х-80-х годов (Денис Этеридж – ЮАР, Пауль Кавана — Канада, Ганс Шрайбер — ФРГ, Девид Преториус — США, Дуглас Кук — США, Фред Трайнер — США и др.) кратко определяют будущее золота так: потребность будет расти, цены будут расти, добыча будет расти. Эти оценки и прогнозы весьма относительны и по годам не устойчивы. Вместе с тем, нельзя не отметить, что торговля, тезаврация, ювелирное дело, медицина и техника характеризуются возрастающим потреблением металла.

Мировая статистика добычи отмечает на фоне высоких колебаний 30-летние циклы роста: максимумы — 1910, 1940, 1970, и 2000 г (прогноз) и соответствующие минимумы — 1920, 1950, 1980. Средний прирост по медиане составляет 10 т в год, по максимумам — 6 т в год, по минимумам — 7,5 т в год. Судя по возрастанию частоты и уменьшению амплитуды колебаний годовой добычи из недр, оценка в 1900 т за 2000 год является максимальной. Оптимальная оценка — 1800 ± 120 т/год.

По данным Горного бюро США средний рост спроса на металлы составит 3,7% в год. Потенциал извлекаемых ресурсов (табл. 14) позволяет наращивать добычу такими темпами [Фриденсбург, 1968].

Таблица 14

Оценка (в т) потенциала извлекаемых ресурсов мира [Трайнер, 1981]

Металлы	Эксперт, организация				
	$1^{x)}$	2	3	4	5
Золото	-	$12–10^{5}$	$0,15–10^{6}$	-	34000
Серебро	-	$21–10^{6}$	$2,8–10^{6}$	-	$1,3–10^{6}$
Платина	-	$6–10^{6}$	$1,2–10^{6}$	44950	84000
Медь	$1323–10^{6}$	$15–10^{9}$	$2100–10^{6}$	$1456–10^{6}$	$1000–10^{6}$
Свинец	$1668–10^{8}$	$3–10^{9}$	$5,5–10^{8}$	$1,35–10^{9}$	$170–10^{6}$
Цинк	$5045–10^{6}$	$24–10^{9}$	$34–10^{8}$	$45–10^{8}$	-
Никель	-	$18–10^{9}$	$26–10^{8}$	$129–10^{6}$	$12–10^{8}$

Примечание: 1 - MIMIC, И. Раджмаран, 1976; 2 - MIMIC, 1978; 3 - Геологическая служба США, Р.Л. Эриксон, 1976; 4 - Горное бюро США, Commodity Data Summares, 1976; 5 - В.Дж. Спиннер, 1976.

III. Основные черты геохимии золота

1. Общие сведения по химии золота

Золото относится к 1Б подгруппе таблицы Менделеева, электронная конфигурация $[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^{1}$, имеет атомный номер 79, атомную массу 196,967; 30 изотопов, в т.ч. один стабильный — ^{197}Au, плотность — 19,32 г/см^3, температуру плавления — 1063°С и кипения — 2966°С. Обладает наивысшей среди металлов ковкостью — один грамм золота можно раскатать в лист площадью 1 м^2. В атомарном состоянии золото значительно более реакционно, чем в компактном. Известны степень окисления I, II, III и V. Определены следующие потенциалы ионизации золота: 1-890, 2-1980, 3-2943, 4-4200 кДж/моль. Золото обладает высокой электроотрицательностью, сродство к электрону составляет 226-270 кДж/моль [Летников, 1965]. В этом отношении его можно рассматривать как псевдогалоген, например, в соединении с цезием — Cs^+Au^-.

В отсутствие комплексообразователей золото химически инертно. Для различных реакций окисления можно написать согласно уравнению Нернста

$Au \rightarrow Au^+(aq) + e$	π=1,7в + 0,059 lg[Au^+]
$Au \rightarrow Au^{3+}(aq) + 3e$	π=1,5в + 0,0197 lg[Au^{3+}]
$Au + 3H_2O \leftrightarrow Au\ (OH)_3 + 3H^+ + 3e$	π=1,46в — 0,059pH
$Au(OH)_3 \leftrightarrow AuO_2 + H_2O + H + e$	π=2,6в — 0,059pH

Рассмотрение диаграмм Eh — pH показывает, что в водной среде без лигандов-комплексообразователей золото невозможно окислить растворенным в воде кислородом ни в присутствии сильных кислот, ни сильных оснований. Главной причиной тому является низкая устойчивость аква-ионов $[(Au(OH)_2]^+$ и $[Au(OH)_2]^{3+}$.

Бинарные соединения, кроме интерметаллидов, неустойчивы в водной среде и обычно существуют в специфических условиях. Гидриды AuH (мономеры) устойчивы в водороде при T=1400°С. Фториды — AuF_3 и AuF_5 также существуют в резко восстановительных средах при высокой температуре. Наиболее распространены и устойчивы хлориды, которые играют существенную роль в геохимической истории золота. В атмосфере хлора при T=254°С существует Au_2Cl_6, при T=254-282°С — AuCl и Au_2Cl_6, при T > 282°С — Au_2Cl_6, Au_2Cl_2. AuCl — цепочечный полимер, чем существенно отличен от AgCl (решетка типа NaCl), что способствует их разделению в солеродных процессах. Монохлорид золота склонен к гидролизу с образованием $AuCl_3(OH)^-$, а также легко образует комплексы типа [LAuCl] и [$LAuCl_3$], где L — NH_3, CO и др. более сложные органические лиганды. Гексахлорид золота Au_2Cl_6, имея плоскую полимерную структуру, способен образовывать с графитом прочное соединение включения $C_{12,6}AuCl_3$.

Селениды и теллуриды золота широко распространены в природе. На основе данных по структуре их можно отнести к соединениям, обладающим свойствами интерметаллидов, равно как и $AuSb_2$. Комплексные соединения золота исключительно разнообразны. Они образуются с лигандами, координированными через донорные атомы IV, V, VI и VII групп таблицы Менделеева (Табл. 15). В нашем рассмотрении мы упомянем лишь те комплексы, которые могут играть роль в геохимических природных системах.

Таблица 15

Свойства комплексов золота различной степени окисления

№№ п/п	Степень окисления	Магнитность	Координационное число	Структура комплексов
1	I	диамагнитны	2, редко 3 и 4	линейная, редко тригональная, тетрагональная
2	II	парамагнитны	4	плоскостная четырех-координационная
3	III	диамагнитны	4, редко 5, 6	плоско-квадратная, редко тетрагональная
4	V	диамагнитны	8	октаэдрическая

Линейный ион $[Au(CN)_2]^2$ — самое устойчивое соединение золота. Константа устойчивости в водном растворе ~ 10^{39}. Определенное геохимическое значение имеет структурная близость комплексов $Tl[Au(CN)_2]$, $[Ag(CN)_2]$ и $[Hg(CN)_2]^-$, что объясняет совместное нахождение этих элементов в рудах и первичных ореолах. Интересен триметилсилилфосфиновый комплекс $MI_3P\text{-}Au\text{-}N(SiMe_3)_2$, в виде которого может осуществляться совместный перенос золота, кремния и фосфора. Обширна группа комплексов с лигандами, координированными через фосфор, мышьяк и сурьму — третичными фосфинами, арсинами, стибинами. При координации через кислород образуется, в частности, комплекс $[Au(OSiMe_3)(PMe_3)]$, обладающий высокой термической устойчивостью, а через серу — $WS_4(AuPMePh_2)_2$. Последнее соединение играет, видимо, очень важную роль в совместном переносе золота и вольфрама в условиях накопления углеродистых терригенных толщ и последующем образовании парагенезиса золота с шеелитом, тунгстенитом, апатитом (фосфатом).

Важное значение в понимании новой геохимии золота имеют комплексы двухвалентного Au с лигандами, координированными через азот, существенная роль которого в составе ГЖВ кварца золоторудных месторождений показана в ряде работ. Комплекс $[Au(NE_3)_4](NO_3)_3$ образуется при взаимодействии аммиака с $H[AuCl_4]$, что возможно при воздействии гидротермальных растворов на обогащенные органикой породы. В сложных биологических системах золото образует разнообразные алкилаураты и родственные им соединения, карбоновые, олефиновые комплексы.

2. Основы новой геохимии золота

Со времен классиков геохимия золота определялась его одним фундаментальным свойством — самородностью. Этот подход и сегодня, несмотря на работы В.И.Вернадского [1954-1960], С.Т.Бадалова [1991], Р.Паддефета [1982] в основе имеет постулат об инертном поведении золота в геохимических процессах и преобладании самородной формы его нахождения в природе. Однако, успехи биоорганической химии и физики свидетельствуют об обратном — о высокой подвижности и активности золота и его соединений, разнообразии форм состояния, переноса и нахождения. Все эти данные приводят к необходимости пересмотра всей геохимии золота и многих элементов (в т.ч. благородных). Такие разделы геохимии как форма нахождения, уровни концентрации и типы обстановок нахождения, геохимические циклы в свете новых представлений приобретают новое освещение [Нарсеев, 1988].

Анализ поведения золота в геохимических абстрактных системах на основе общих свойств атомов и ионов проведен с использованием данных А.А. Маракушева [1987] об экстремальных состояниях элементов Периодической системы. Такой подход избран для поиска ассоциаций золота с другими элементами в аспекте возможных

новых типов оруденения. На рис. 2 показаны позиции золота в I, IIIа и IIIб валентных состояниях в кооперации с другими элементами. Сила кооперации оценивалась через "электросродство".

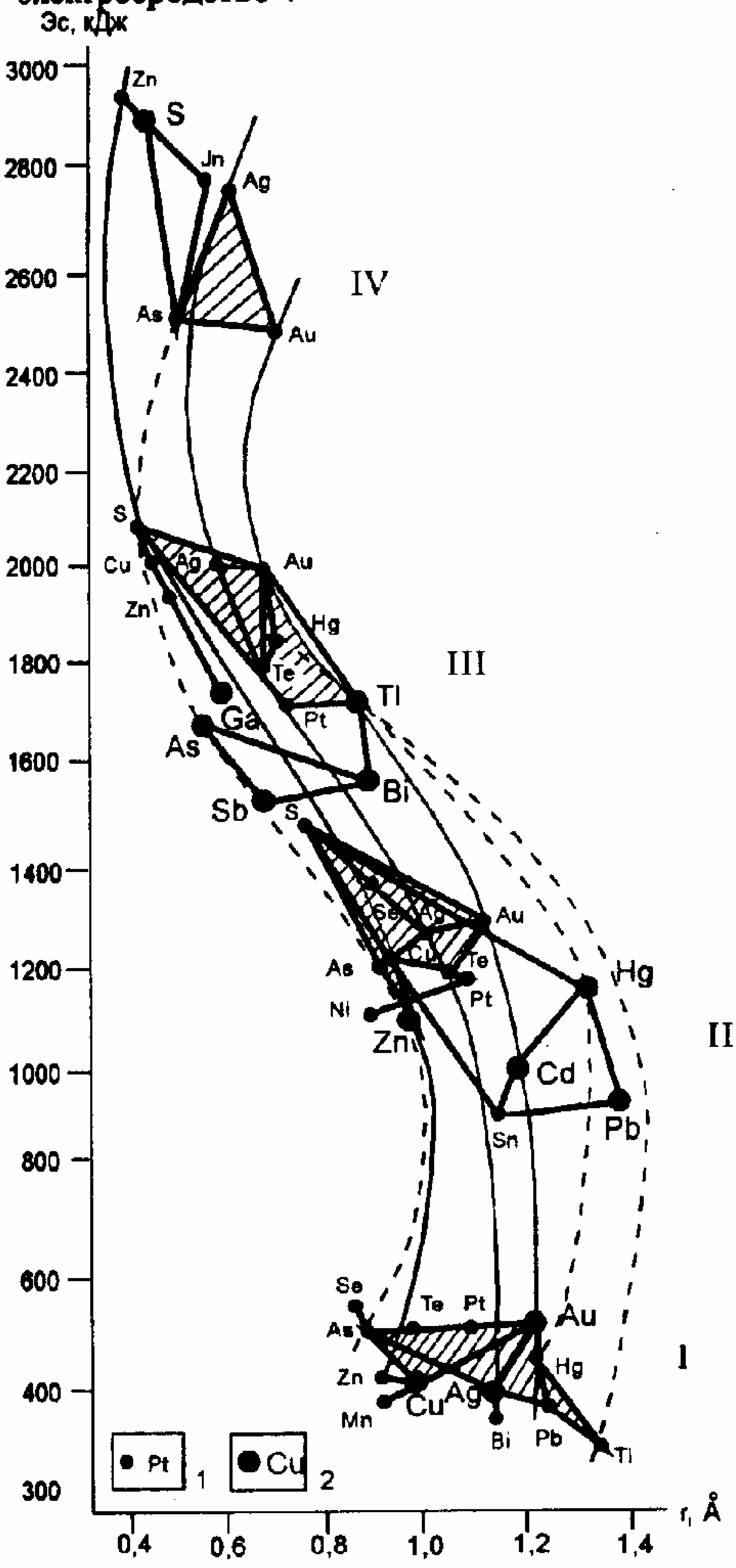


Рис. 2. Система связей золота в различных валентных состояниях с элементами периодической системы.

1 - элемент в нормальном состоянии;
2 - элемент в экстремальном состоянии (по А.А. Маракушеву).

На первом уровне (**Au-I**) мы видим привычные ассоциации ближнего порядка: Au-Hg, Au-Pt, Au-Ag и Au-Cu. Можно отметить, что нам пока неизвестны магматогенные (ликвационные или сегрегационные) золото-медные, золото-серебряные и золото-ртутные месторождения, поиски которых в областях развития коматиитов, ультрамафитовых и мафитовых дифференцированных комплексов представляется целесообразным. Что касается дальнего порядка, то пока мы знаем лишь месторождения в высокоуглеродистых осадочных породах, где золото ассоциирует с платиной, а через нее — с теллуром, селеном, мышьяком. Минерализация золото-ртуть-свинец-таллиевая пока не установлена и скорее всего ее следует искать в кислых дифференциатах зеленокаменных поясов докембрия. Совершенно таинственна ассоциация золото-серебро-висмутовая, а также золото-медь-марганец-цинковая. Последняя возможна в метаморфических комплексах с оруденением типа Франклин-Фернесс.

Золото — IIIа дает две известные рудные серии в ассоциации с серой (в пиритных месторождениях) и с теллуром (в теллуридных месторождениях). При этом оно тесно связано с серебром, что подтверждено существованием рядов Au-Ag месторождений от чисто серебряных с Au (ведущий анион — сера) до чисто золотых (ведущий анион — теллур). Понятно участие в золото-серебряных с теллуром и медью месторождений селена. При этом селениды связаны в ближнем периоде с серебряной минерализацией, а золото — только опосредованно. Интересна связь золото-теллур-платина-никель. Она свидетельствует о возможном наличии в золото-теллуридных месторождениях платиновой минерализации в ассоциации с сульфидами никеля.

Очень отдаленны связи золота с группой Hg, Pb, Cd через олово, медь и серу, однако, такой парагенезис можно пытаться искать в низкотемпературной сульфидно-олово-медной минерализации.

Золото — IIIб образует изолированное (в ближнем порядке) поле связей с галлием, ртутью, теллуром, серебром и серой. Этот явно низкотемпературный парагенезис Гетчел-карлинского типа таит еще много новых возможностей обнаружения необычных типов оруденения. В дальнем порядке картина усложняется присоединением к золоту через таллий висмута, сурьмы и мышьяка, а через серу — меди, цинка, германия. Скорее всего это парагенезисы "черных" сланцев и песчаников, но не золото-мышьякового, а золото-медного профиля. Указание на наличие минерализации такого типа имеется в описаниях Замбийских месторождений.

Золото — V, образуя в ближнем порядке прочные связи с серебром и мышьяком, в дальнем — через последний ассоциирует с серой в высшей степени окисления. Сегодня таких минеральных парагенезисов неизвестно. Остается предположить совершенно неизвестный нам парагенезис самородных золота-серебра-мышьяка в ассоциации с нефелиновыми сиенитами и другими щелочными породами, где сера в виде SO_4^{2+} входит в состав силикатов, а связанный снею цинк образует цинковую шпинель. Возможны весьма необычные формы нахождения золота и серебра. Первое может давать интерметаллиды с фосфором и редкими землями, второе — хлориды.

Исследования периодичности свойств золота и других элементов (рис. 3, 4, 5) позволило установить некоторые явления. Прежде всего обращают на себя внимание потери устойчивости такой периодичности по мере нарастания порядковых номеров элементов Периодической системы. Происходит расщепление гармоник, раскачка устойчивых состояний, что обусловлено, скорее всего, усложнением строения атомов элементов. Для металлических и ковалентных радиусов четко устанавливается характер зависимости значений r и порядкового номера N (рис. 3, 4). На рис. 3 линия O — S — Cu — Ag — Au, Hg и Li — Na — K — Rb — Cs — Fr симбатны, что указывает на смену ассоциаций элементов Na — S, K — Cu, Rb — Ag, Cs — Au, Hg в направлении возрастания щелочности. В связи с этим необходимо привлечь внимание к цезию, как наиболее близкому золоту щелочному элементу. Он даже образует соединение AuCs, чем в ряде объектов объясняется парагенезис оруденения и цезиевых ореолов рассеяния. На рис. 4 обращают на себя внимание ассоциации Na — S, K — Cu — As, Rb — Ag — Sb, Cs — Au, Hg — Bi. Они представляются проявлением наиболее "чистых" связей элементов, где щелочной элемент — металл и металлоид дают устойчивые ассоциации. Видимо, следует еще раз оценить устойчивость природных парагенезисов этих элементов в рудных месторождениях. На рисунке, следовательно, необходимо выделить линии: H — Li — Na — K — Rb — Cs — Fr, He — Ne — Ar — Kr — Xe — Rn — NS, O — S — As — Sb — Bi, Fe — Mo — W, Cu — Ag — Au, Hg, Pt. При этом группа W, Os, Pt нарушает "непрерывность" линии благородных газов. Можно предположить, что этой группой заканчивается ряд нетипичных металлов.

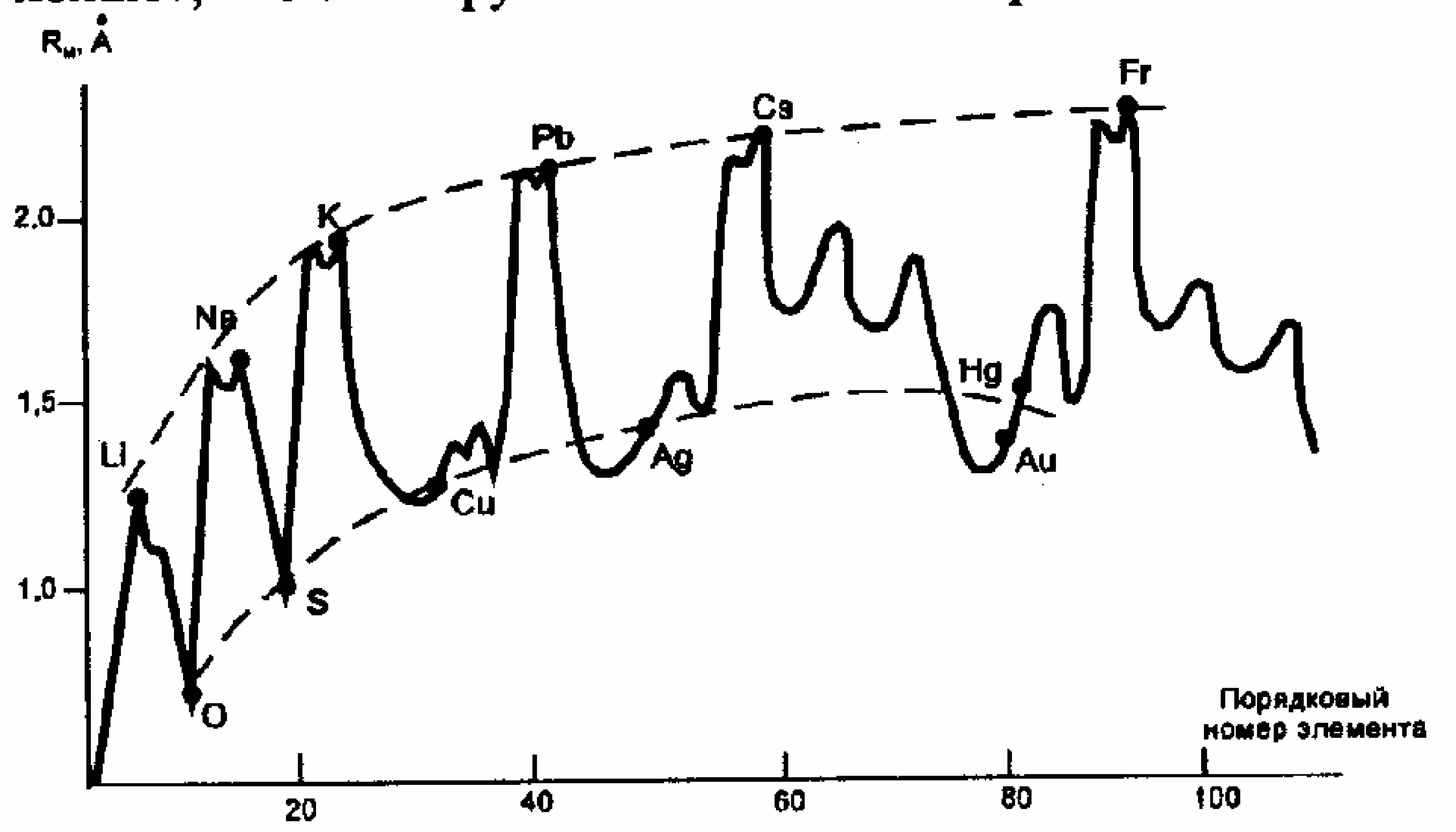


Рис. 3. Периодичность изменения величин металлических радиусов элементов.

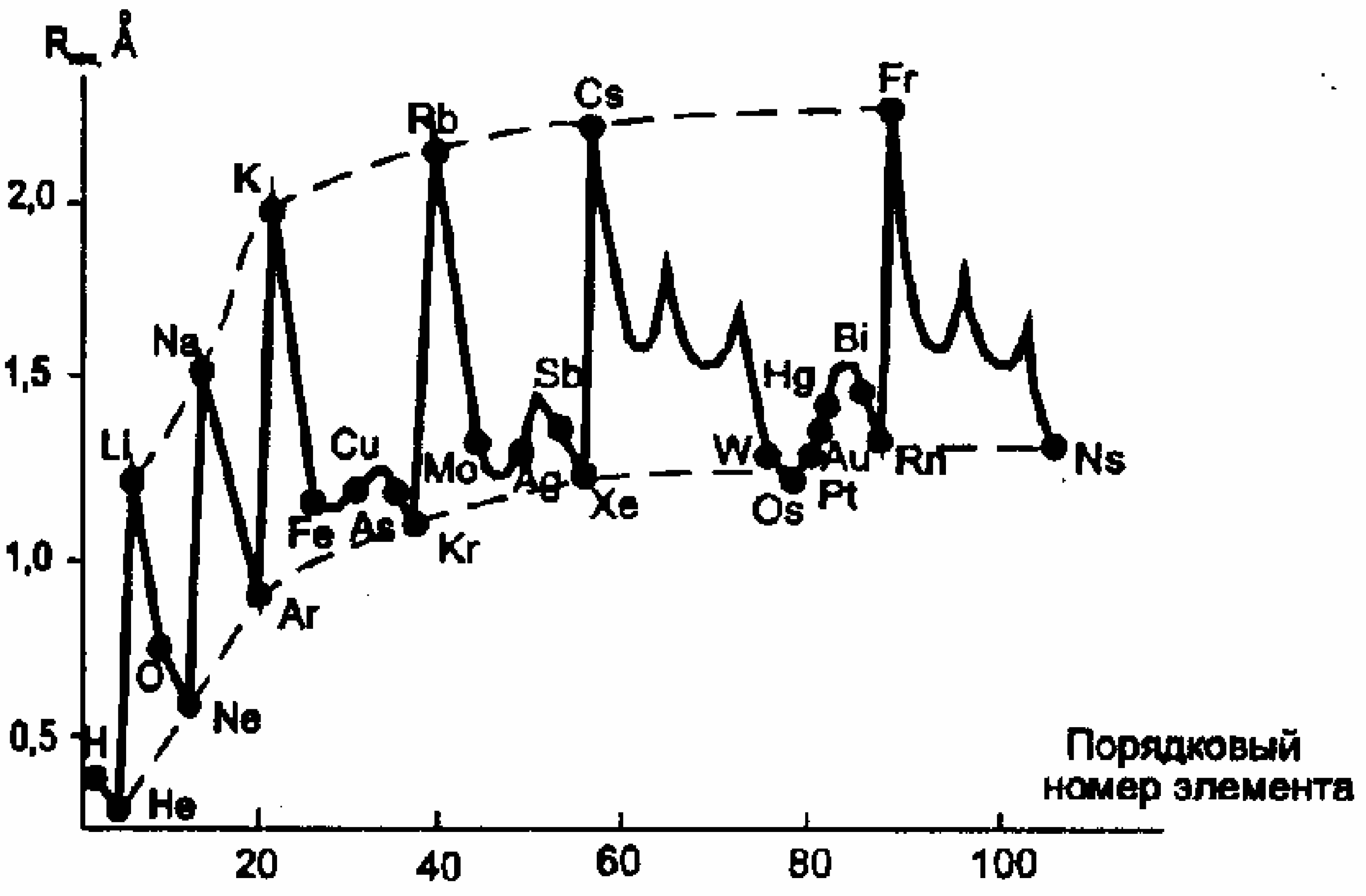


Рис. 4. Периодичность изменения ковалентных радиусов элементов.

Ряды электросродства элементов в одновалентном состоянии (рис. 5) очень четко разграничены по свойствам. Линии галогенов: F — Cl — Br — J — At, щелочных элементов: Li — Na — K — Rb — Cs — Fr, металлоидов: O — S — As — Sb — Bi и металлов: Cu — Ag — Au, Hg в районе Hg Au Bi образуют сложный "узел" со значениями ЭС ~ 500 кДж. Далее в сторону высоких порядковых номеров эти линии неустойчивы.

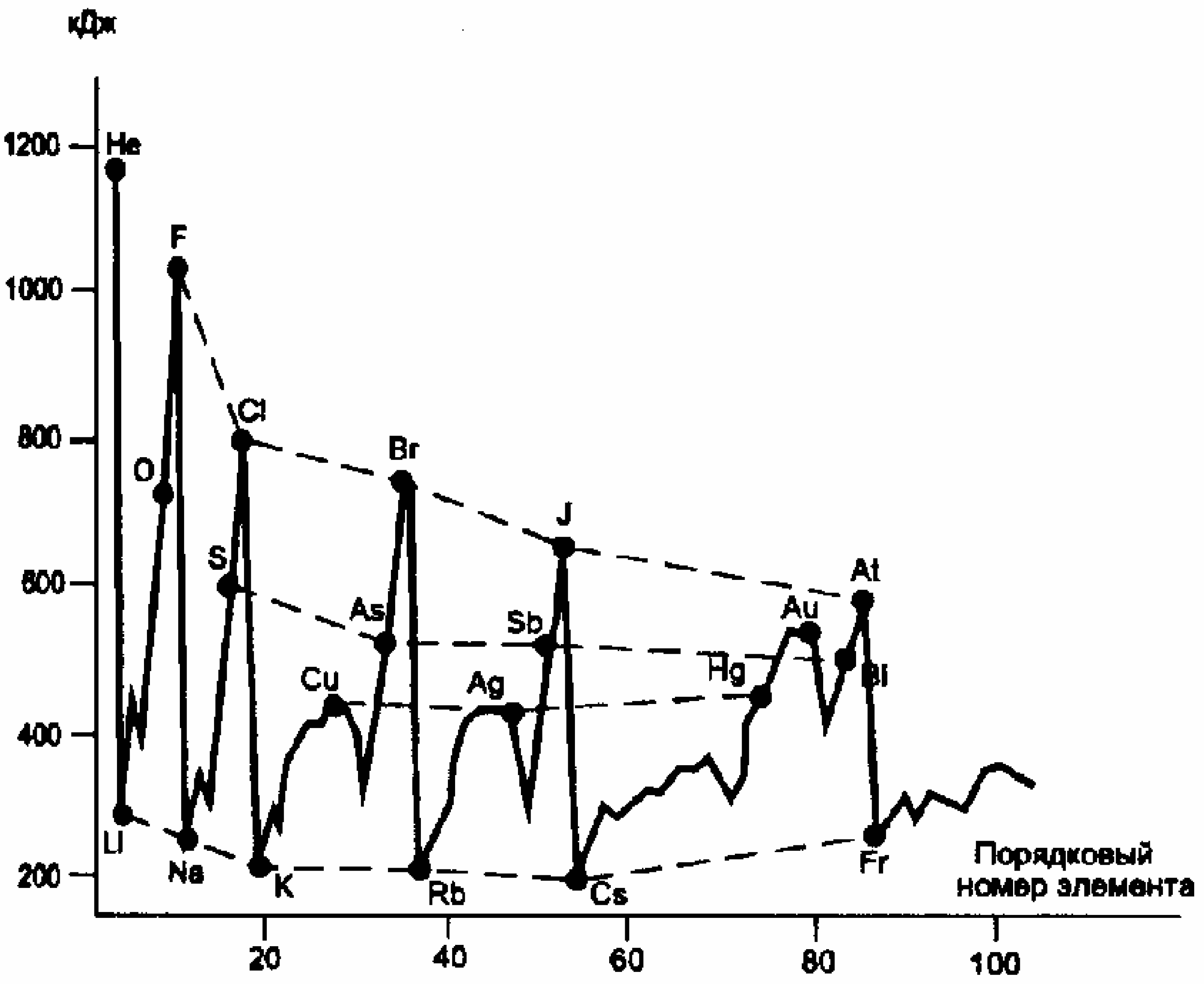


Рис. 5. Периодичность значений электрородства одновалентных ионов элементов.

Таким образом, на фоне периодических вариаций свойств выделяются линии однонаправленных тенденций их изменения. При этом в таких направлениях происходит потеря устойчивости периодичности и скачком изменяется ее природа, т.е. мы имеем проявления синергетических эффектов. Золото-платиновые металлы и ртуть, как элементы с низшими энергетическими связями соединений, оказываются наиболее характерными для синергетических процессов, что определяет их способность к высоким концентрациям при исключительной "рассеянности".

Формы нахождения имеют большое разнообразие, хотя вопрос этот исследован совершенно недостаточно. Сегодня есть основания говорить о следующих формах нахождения золота в природе — атомарный газ, интерметаллиды и сплавы, коллоиды, сорбированные формы, металлоорганические соединения, клатраты, свободное (самородное) компактное золото.

Атомарный газ. Представление о такой форме принадлежит В.И.Вернадскому [1954-1960], но не развито никем из последующих геохимиков. Самое низкое сродство к анионам в области температур и давлений, характерных для условий земной коры и поверхности, однозначно свидетельствуют о реальности высшей формы рассеяния золота — атомарном газе. Идеальность такого газа, видимо, достаточно высока. Одним из доказательств этого является нормальность распределения субкларковых и докларковых содержаний золота одного уровня во всех земных породах. В особых экстремальных условиях восстановленности среды идеальность нарушается — появляются флуктуации, отвечающие более высоким концентрациям и новым формам нахождения.

Интерметаллиды. Наличие интерметаллидов золота в природе — установленный факт. Однако, эта форма сегодня считается экзотической. На основании данных современного материаловедения, поразительных результатов исследования самородных форм нахождения элементов в природе [Самородные металлы..., 1985], ряда теоретических разработок ясно, что форма интерметаллидов на кларковом и более высоком уровне является очень распространенной, но малоизученной. Эта форма, видимо, очень характерна для сред с резкими инверсиями окислительно-восстановительного режима. К таким средам в природе следует отнести углеродистые терригенные толщи, области и зоны проявления воздействия восстановительных мантийных газовых струй, фронты окисления пластовых вод (роллы), зоны взаимодействия вод нефтеносных бассейнов с гидротермами рудообразующих термальных систем. Прямыми доказательствами этого положения являются два вновь установленных факта. Первый из них получен В.Н. Матвеенко в ИГН НАН Республики Казахстан при исследовании продуктов дифференциального выщелачивания золото-мышьяковых сульфидных руд из углеродистых терригенных пород [Матвеенко, 1994]. Им обнаружено широкое развитие бунзенита (AuNi) — интерметаллида, считавшегося минералогической редкостью. Необходимо отметить, что автором ранее исследовались геохимические связи золота и никеля в таких рудах. Была установлена высокая положительная корреляция Au и Ni в определенном интервале содержаний золота (от 0 до 1 г/т). Однако, объяснения этому в то время найти не удалось. Широкое развитие бунзенита однозначно определяет эту корреляцию. Второй факт, вернее, группа фактов, связана с освоением месторождений роллового типа. В мировой практике известны примеры получения при переработке ролловых руд помимо основного компонента других элементов. Часть из них (редкие земли, скандий, селен, молибден и др.) способны образовывать с золотом интерметаллиды. Эта способность определяется соотношением величин атомных радиусов и строением электронных оболочек [Паддефет, 1982]. Предел содержания металла в интерметаллиде достигается при числе валентных электронов на 1 атом золота, равном 1,4. Отсюда, медь и серебро, неограниченно, но дискретно (!) растворимы в золоте, а элементы с двумя, тремя и четырьмя электронами имеют предел растворимости 31, 12,5 и 3,2 объемных процента. Снижению растворимости способствует разница в атомных радиусах: чем больше разность, тем меньше растворимость. Возможность возникновения фаз определенного состава также связана с соотношением валентных электронов. Так, при соотношении 3/2 электрона/атом возникают фазы AuZn, Au_3Al, Au_5Sn; при соотношении 7/4 электрона/атом — $AuZn_3$, Au_5Al_3, Au_3Sn. Важное значение для образования специфических фаз имеет тип решетки, в котором кристаллизуется соединение. В решетке CsCl образуются AuPb, AuSc, AuCe и другие соединения с РЗЭ, а с типом решетки $MoSi_2$ — $ScAu_2$, $TiAu_4$ и сплавы типа TR_2Au [Паддефет, 1982].

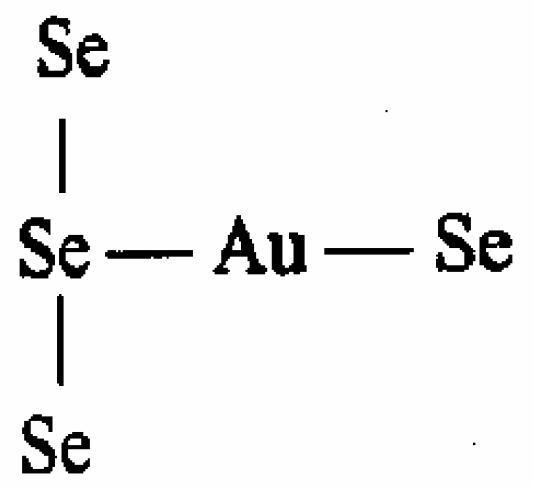
Легко представить себе какие массы золота можно транспортировать в виде интерметаллида $SiAu_4$ даже при низкой (около 1%) растворимости золота в кремнии. Условия образования интерметаллидов и твердых растворов золота весьма, как отмечалось, специфичны. В силу того, что энергия связи металлов с кислородом, серой и другими анионами выше, чем у металла с золотом (табл. 16), наиболее реально образование интерметаллидов в резко восстановительных условиях с учетом постоянно действующих факторов — значения действующих масс, стехиохимия, наличие катализаторов.

Таблица 16

Энергии диссоциации связей некоторых соединений [Паддефет, 1982]

№№ п/п	Элемент	Энергия Д, кдж/моль		
		золото	сера	кислород
1	Палладий	139	160	140
2	Марганец	182	840	1140
3	Серебро	199	240	170
4	Железо	207	1060	1240
5	Хром	211	800	1110
6	Кобальт	218	910	1070
7	Золото	222	100	80
8	Медь	232	400	350
9	Олово	241	700	1440
10	Никель	248	1050	900
11	Церий	297	500	2400
12	Алюминий	322	1800	2400

Теллуриды, селениды золота среди бинарных соединений (табл. 17) широко распространены в природе. По характеру взаимодействия золота с теллуром и селеном, конфигурации и координации атомов в структуре соединений эти вещества следует рассматривать как примыкающие к интерметаллидам. Дело в том, что согласно Ганееву и Покалову [1975] в $AuSe_2$ и $AuTe_2$ атомы золота занимают две позиции: первая — линейной конфигурации SeAu и TeAuTe, вторая — плоскоквадратной координации.



и

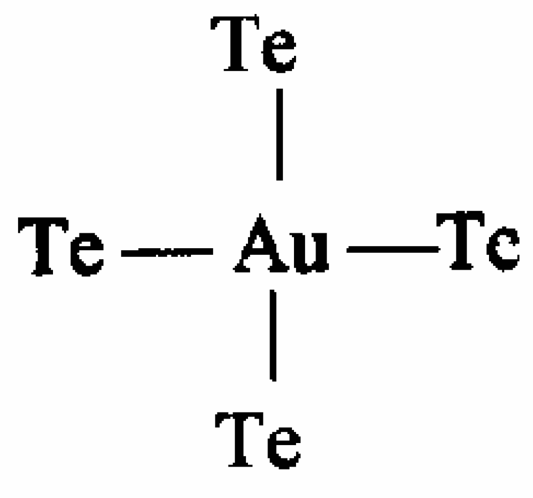


Таблица 17

Бинарные соединения золота разной валентности [Паддефет, 1982]

№№ п/п	Соединение	Валентность Au	Химическая формула
1	Гидриды	1, 3	AuH, AuH_3, $Au[BH_4]_3$ и др.
2	Галогениды	1, 3, 5	$AuCl$, $AuCl_3$, AuF_5, AuJ
3	Цианиды	1, 3	$AuCN$, $Au(CN)_3 3H_2O$
4	Роданиды	1	$AuSCN$
5	Оксиды, гидроксиды	3	$Au(OH)_3$, Au_2O_3
6	Сульфиды	1, 3	Au_2S, Au_2S_3
7	Селениды	2, 3	$AuSe$, Au_2Se_3
8	Теллуриды	2, 3	$AuTe_2$, Au_2Te_3, $AuTe_{1,75}$
9	Фторсульфаты	3	$Au(SO_3F)_3$
10	Нитраты	3	$Au(NO_3)_3$
11	Нитриды	3	$AuN \cdot NH_3 \cdot 1{,}5H_2O$
12	Фосфиды	3	Au_2P_3
13	Стибиды	3	$AuSb_2$

Поэтому такие соединения реально имеют вид $Au{+}Au^{3+}Se_2$ и $Au{+}Au^{3+}Te_2$. Для $AuTe_2$ характерна линейная конфигурация TeAuTe, а для Au_2Te_3 — смешанная ли-

нейная и плоскокоординированная. При этом линейная конфигурация может быть представлена как интерметаллид, а плоскокоординированная — как конденсированный полимер. Сказанное в полной мере относится и к смешанным теллуридам, селенидам золота и серебра, где последние между собой также образуют интерметаллиды.

Изложенный подход отличается от общепринятого, при котором селениды и теллуриды золота (серебра) рассматриваются как аналоги сульфидов. Сульфиды золота Au_2S и Au_2S_3 являются продуктами специфической реакции H_2S и $Au(CN)_2$ в восстановительных условиях, которая в природе может протекать в зонах эндоконтактовых высокотемпературных безводных роговиков по углеродистым терригенным породам. В водной среде сульфиды золота гидролизуются и распадаются на свободное золото и сульфат-ион.

Органические соединения. Золото образует многочисленное семейство металлоорганических соединений, часть из которых существует в природе (табл. 18).

Таблица 18

Комплексные соединения золота разной валентности [Паддефет, 1982]

№№ п/п	Наименование комплексов	Формула соединения	Возможные условия нахождения в природе
	Золото - I		
1	Карбонильные	$[AuCl(CO)]^-$	высокотемпературные метан-водородные безводные струи
2	Изонитрильные	$[Au(RNC)_2]^+$	
	- алкилнитрилы		
	- алкилаураты	$[Au(Me_2)]^-$	
3	Цианидные	$[Au(CN)_2]^-$ $[Ag(CN)_2]^-$ $[Hg(CN)_2]^-$	в зонах термопреобразования углеродистых толщ
4	Амидокомплексы бистриметилселиламиды	$[Me_3P\text{-}Au\text{-}N(SiMe_3)]_2$	в процессах жизнедеятельности бактерий, одноклеточных водорослей, высших и низших растений и животных
	пиразолил	$C_3H_3\ _2Au$	
5	Комплексы с третичными фосфинами,	$[AuCl(PPh_3)]$	
	арсинами,	$[AuCl(AsPh_3)]$	
	стибинами,	$[AuCl(SbPh_3)]$	
	фосфинметалсилилами,	$[AuCl\{P(CH_2SiMe_3)\}_3]$	
	метиларсинами,	$[AuCl(AsMe_3)]$	
	трифенилфосфиноксониевые	$\{[(Ph_3PAu)_3O]BF_4\}$ $\{[(Ph_3PAu)_3O]MnO_4\}$ $[Au(OSiMe_3)(PMe_3)]$	
6	Тиосульфатные	$[Au(S_2O_3)_2]^{3-}$	в процессе эволюции форм в растворах
7	Диалкилсульфиды	$[AuCl(R_2S)]$	в условиях избытка H_2S в восстановительной среде углеродистых толщ
8	С двойными лигандами (третичные фосфины и др.)	$WS_4(AuPMeRh_2)_2$	
9	Галогениды	$[AuCl_2]^-$	в морской воде и гидротермах при избытке хлорид-иона
	Золото - II		
10	Дитиолатные	$[Au(S_2CNR_2)_3]$	?
	Золото - III		
11	Аминные Аминные и родственные им	$[Au(NH_3)_4]\ [A]^{2+}$, где A - NO_3, OH, NH_2	в условиях азотного буфера, высоких концентраций аммиака, в организме растений и животных и продуктах их распада
12	Дитиокарбаматы	$[AuX_2(S_2CNR_2)]$ $[Au(S_2CNR_2)_2]^+$ $[Au(S_2CNR_2)_3]$	в животных организмах и растениях, продуктах их метаболизма
13	Диалкилсульфидные	$[AuCl_3(SR_2)]$	
14	Галогенокомплексы	$[AuX_4]$	в специфических средах, обогащенных галогенами

Геохимия этих соединений сегодня не изучена, роль их в переносе и накоплении металлов несомненна. Ясно, что биогеохимия золота — наука XXI столетия. Подчеркнем важное значение золотоорганических соединений и, прежде всего, комплексов с третичными фосфинами в геохимическом цикле золота. Процессы окисления глюкозы, гидролиза АТФ — главный источник энергии биосистем, протекает при активных превращениях АТФ→ АДФ→ АМФ с постоянным выделением энергии, фосфата и связанного в фосфинах золота. Реализуется следующий ступенчатый процесс:

АТФ + H_2O → АДФ + Фн — 33,5 кДж/моль

АДФ + H_2O → АМФ + Фн — 30 кДж/моль

АМФ + H_2O → аденозин+ Фн — 14 кДж/моль

Глюкоза + АТФ → глюкоза — 6 — фосфат + АДФ — 17,2 кДж/моль

1 моль глюкозы при окислении дает 38 молей АТФ. Выделяющийся Фн выносит золото из третичных фосфинов.

Целлюлоза — пример β-глюкозы и полисахарозы — полимеры различных форм глюкозы при окислении генерируют целый спектр органических соединений, в состав которых может входить золото. Разнообразные растительные и животные белки (пепсин, казеин, альбумин, α-глобулин, β-глобулин, γ-глобулин, фибриноген, миозин, тропомиозин, карбоксилгемоглобин, гистон, геомоглобин, химотрипсин, лизоциум коллаген, миоглобин и др.) и их аминокислоты (аланин, аспарагин, аргинин, цистеин, цистин, глицин, глутамин, гистицин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, фенилаланин, валин и др.) способствуют переводу золота в подвижное состояние. Установлено, что микроорганизмы способны переносить золото в трех основных формах:

1. адсорбция микрочастиц — Micrococcus luteus, Pseudomonas acidovorans, Pseudomonas cereus
2. флокуляция микрочастиц — Bacillus antracoides, Spirillum sp., Rhirobium japanicum
3. соединения в продуктах метаболизма — Tiobacillus ferrioxidance, Chromobacterium violaceum.

В.А. Загоскин (устное сообщ., 1989) установил уникальную форму концентрирования золота в природных гумусовых системах мхов и лишайников с микроорганизмами, перечисленными выше. Отсюда совершенно закономерно постоянное наличие фосфатов в рудах золото-сульфидной формации. Этот факт, установленный нами на примере месторождений Алтая и долгое время остававшийся без генетического истолкования, приобретает значение ключевого в раскрытии природы минерализации в углеродистых терригенных породах. Третичные фосфины и их аналоги — третичные арсины, стибины и др., участвуя в биологическом цикле и являясь продуктами метаболизма живых организмов, служат промежуточной формой концентрирования золота в иловых осадках. Их окисление и распад приводит к выделению свободного тонкого золота в ассоциации с сульфидами железа и цветных металлов, кремнеземом, минералами вольфрама.

Свободное золото

В эту группу объединены разнообразные формы нахождения золота по принципу характера связи с матрицей. Связь эта имеет для дисперсных и макро выделений физическую природу — сорбционную, адгезионнную, соединения включения. Свободное самородное золото наиболее полно изучено и описано в виде компактного золота в рудах и россыпях [Петрова и Хлебникова, 1977]. Менее полно исследовано свободное золото в сульфидах. Сорбционное на глинистых минералах золото изучено значительно хуже, а о соединениях включения известны лишь единичные данные.

Компактное золото. Уникальным свойством самородного компактного золота является способность образовывать самородки. Известные всему миру находки крупных самородков (табл. 19) компактного золота в рудах поражают воображение прежде

всего степенью концентрации металла в локальном объеме (до сотен кг/т руды). Природа таких концентраций до конца не раскрыта, хотя нет недостатка в представлениях о механизме их образования [Смолин, 1970].

Таблица 19

Самородки месторождений мира

№№ п/п	Название самородка	Вес, кг	Год находки	Место находки
1	Плита Холтермана	275,0	1872	Австралия, Н.Ю.Уэльс руд. Хилл Энд
2	Без названия	193,0	?	Бразилия, Гонго-Сако
3	Без названия	108,8	1873	США, Калифорния
4	Без названия	95,2	1869	Австралия, Балларет
5	Желанный незнакомец	88,4	1870	Австралия, Балларет
6	Без названия	75,4	1871	Австралия, Балларет
7	Без названия	72,9	1954	США, Калаверас
8	Японец	71,0	1901	Япония, Хоккайдо
9	Желанный	69,6	1858	Австралия, Балларет
10	Блестящий Баркли	65,7	1857	Австралия, Балларет
11	Канадец 1-ый	50,0	1863	Австралия, Балларет
12	Без названия	48,0	1870	США, Калифорния
13	Хандруэйт	45,3	1851	Австралия, Н.Ю.Уэльс
14	Без названия	45,0	1899	Австралия
15	Леди Хотэм	44,7	1857	Австралия, Виктория
16	Канадец 2-ой	42,0	1857	Австралия, Виктория
17	Канадец 3-ий	40,0	б/д	Австралия, Виктория
18	Без названия	39,5	1983	Бразилия, Пара
19	Оливер Мартин	36,3	1954	США, Калифорния
20	Большой треугольник	36,0	1942	Россия, Урал
21	Посейдон - 2	35,6	б/д	США, Калифорния
22	Золотой орел	35,3	1937	Австралия
23	Ленский	25,9	1881	Россия, Бодайбо, прииск Радостный
24	Большой Тыелгинский	14,1	1935	Россия, Урал
25	Золотой великан	14,0	1961	Россия, Колыма
26	Золотой поход им. Калинина	13,8	1935	Россия, Урал
27	Лошадиная голова	13,8	1936	Россия, Урал
28	Великан Бодайбо	12,4	1957	Россия, Бодайбо
29	Апрельский	12,2	1990	Россия, Лена
30	Дельфин	10,0	1958	Россия, Лена

В классах крупной, средней, мелкой и тонкой размерности выделения компактного золота изучены хорошо. По данным В.Н. Клепикова [1992] распределение весов самородков весом более 5 кг имеет две моды: 8 кг и 15 кг, остальные более крупные (более 17 кг) самородки индивидуальны по весам. Что же касается микроминералогии свободного золота, то новую страницу в ней открыли работы В.Н.Матвеенко [1994]. Необходимо подчеркнуть, что именно в области электронно-микроскопического исследования специально выделенного золота показано огромное разнообразие форм выделения, роста и растворения золота, обычно не наблюдаемых в макроскопической области.

Золото в сульфидах.

Механизм образования золотин в сульфидах, если исключить поздние наложения, видимо, имеет электрохимическую природу. Соосаждение и перекристаллизация золота исследованы экспериментально, а также на природных объектах. Распределение золота в сульфидах, вариации размеров, состава золота зависят от множества факторов периода минералообразования и после истории минерала-хозяина.

Теоретически можно показать возможный предел концентрации золота в сульфидах. Изменение свободной поверхности растущего кристалла при образовании зародыша золота [Хамский, 1967]

$\Delta F = (\mu_2 - \mu_1)\,N + \sigma\Sigma$, где

μ_1 — химический потенциал старой фазы,

μ_2 — химический потенциал новой фазы,

N — число частиц в новой фазе,

σ — удельная поверхностная свободная энергия новой фазы,

Σ — поверхность новой фазы

$\Sigma = 4\pi R^2$, $N = \dfrac{4\pi R^3}{3V_2}$, где

V_2 — объем одной частицы в новой фазе.

R — радиус зародыша

Критический размер зародыша $R\kappa = \dfrac{2\sigma V_2}{\mu_1 - \mu_2}$, а его позиция в кристалле определяется положением дефектов различного типа. Устойчивость и размер практического зародыша зависят от некоего оптимума ΔF. При образовании дефектной структуры сульфида μ_1 растет пропорционально числу дефектов.

Соотношение R^2 и R^3 на ранних стадиях роста всегда в пользу R^2, т.к. золото образует преимущественно плоскокоординированные полимеры. Объемные (трехмерные) полимеры и кластеры возникают на средних стадиях и соотношение меняется в пользу R^3. В новой фазе V_2 равен сумме объемов атомов с N = 2 и более, т.к. при N = 1 мы имеем дело с атомарным газом. Сложные по геометрии решетки, имея более высокий химический потенциал, в большей степени благоприятны для накопления примесной фазы золота при минимальных размерах ее выделений. Поэтому в арсенопирите содержания золота выше, а размерность выделений ниже, чем в пирите. Из самой природы золота в сульфидах следует, что распределение содержаний в них дискретно, полимодально. Нами исследована структура распределения содержаний золота в пиритах и арсенопиритах из золото-мышьяковых руд Восточного Казахстана, а также использованы опубликованные данные по другим регионам [Нарсеев, 1968]. Распределение золота и элементов-спутников в пиритах и арсенопиритах полимодально, при этом отчетливо выделяется для пиритов три элементарных распределения, а для арсенопиритов — четыре. В классах содержаний до 100 г/т значения мод $P_э$ близки. Золото может размещаться в кристалле сульфида в различных позициях — в точечных дефектах решетки, междоузлиях по типу сплава, дислокациях различного типа. Исследования по травлению пирита химическим и биохимическим способами показывает, что основную роль в распределении золота играют дислокации, на которых золото, перераспределяясь, дает наиболее крупные скопления.

Коллоидное или “связанное” золото в дисперсных природных образованиях (илы, глины, глинистые породы) экзогенного и эндогенного происхождения — широко распространенная форма. Благодаря развитию препаративных методов удалось выделить и всесторонне изучить золото этого типа. Коллоидное золото возникает при гидролизе различных комплексных соединений. Оно представлено глобулярными выделениями, нитевидными, пластинчатыми и лентовидными кристаллами — продук-

тами старения ультратонких агрегатов коллоидных частиц. Размещение таких образований на поверхности глинистых минералов закономерно. Они декорируют насыщенные дислокациями активные участки граней, вершин ребер, отдельные включения других фаз [Матвеенко, 1994].

Проблематичные для природных условий формы золота — сульфиды AuS и Au_2S_3; оксиды и гидроксиды $Au(OH)_3$, $AuO(OH)$, Au_2O_3; соединения включения графита состава $C_{12,6}$ $AuCl_3$ и возможные аналоги для слюд — клатраты гидроксидов, галогенидов золота требуют специальных исследований.

Заключая рассмотрение форм нахождения золота, можно еще раз подчеркнуть правило С.Т.Бадалова: "состав и состояние Среды определяют форму нахождения элемента" с оговоркой о том, что в полном объеме это правило приложимо к эфемерным метастабильным состояниям.

Распределение содержаний и уровни концентрации золота в природе

В силу многообразия форм нахождения и уникальных свойств распределение золота в геологических образованиях весьма сложно. Отличительной его особенностью является полимодальность. Явление полимодального распределения содержаний золота в рудах и минерализованных породах описано нами [Нарсеев, 1968 в] и В.Л. Лосем [1994]. Этому посвящены работы В.И. Лобача [1986, 1988] и др. Природа полимодальности, отражающей наличие уровней концентрации элементов, исследована В.Л. Лосем [1994]. Сегодня этот механизм наиболее полно может быть расшифрован на основе синергетики процесса отложения веществ из растворов. Все эти представления разрабатываются при изучении, в основном, одной формы нахождения золота — свободной. Для других форм распределение и уровни концентраций могут обсуждаться пока только на основе предположений. Так, для атомарного идеального газа должно быть характерно нормальное распределение содержаний с модой в районе кларка пород. В действительности такая картина наблюдается по данным исследований А.Ф.Коробейникова, В.Н.Долженко, В.В.Уварова, Винсента и Крокетта и др. Повышенный кларк метеоритов и некоторых типов земных пород может быть связан с наличием золота в форме интерметаллидов. Распределение здесь должно быть, по меньшей мере, бимодальным. Первое $P_Э$ соответствует нормальному распределению макрокомпонента (железо, прежде всего), с которым золото образует интерметаллид в породе. Второе $P_Э$ может быть связано с появлением обогащенной малыми элементами (никелем) определенной фракции пород. Предельное содержание золота, связанное с этой формой, едва ли превышает первые г/т. Полимодальный характер распределения содержаний золота в сульфидах вызывает аналогичное явление для золото-сульфидной минерализации и руд. При этом соотношение значения разных $P_Э$ и соответствующих уровней концентрации определяется содержанием сульфидов и их золотоносностью. Для коллоидной формы, в основном, характерны низкие (сотни мг/т — первые г/т) содержания при полимодальном их распределении. Однако, известны случаи образования суперконцентраций коллоидной формы при распаде теллуридов, а также при формировании руд в близкоповерхностных условиях. В целом, от докларковых до выдающихся по значениям концентраций полимодальное распределение золота содержит восемь-десять $P_Э$. Это фундаментальное свойство золота еще требует специальных исследований.

Состояние золота в природных системах и процессах

Многообразие форм нахождения, в т.ч. наличие высокоподвижных и эфемерных соединений золота [Паддефет, 1982], определяет априори многообразие его состояний в растворах и легкость взаимопереходов при вариациях PT и pH-Eh — условий.

При высоких pT-параметрах среды (мантийные расплавы, метаморфиты высоких фаций) изначально высшим состоянием рассеяния является атомарный газ. Это

определяет "всюдность" золота. С ним граничит состояние летучих бинарных соединений золота типа гидридов (AuH, 1400°C в атмосфере водорода); фторидов (AuF_3, 600°C в атмосфере водорода и фтора); хлоридов (Au_2Cl_6, 300°C в атмосфере водорода и хлора); Сульфидов (Au_2S, 400°C, в атмосфере сероводорода); фосфидов (Au_2P_3, 500°C, прямое взаимодействие фосфора и золота в безводной среде); стибидов ($AuSb_2$, 400°C, прямое взаимодействие в безводной среде). Как видно, для всех перечисленных форм характерна среда мантийных газовых метан-водородных потоков и струй.

В гидротермальных условиях широко проявлены координационные полимерные формы хлоридов, цианидов, роданидов, гидроксидов, при гидролизе дающих свободное золото различной дисперсности. При нормальных условиях в морской воде наиболее характерна хлоридная форма, а в гидросфере на суше — металлоорганические соединения.

Конечная форма эволюции всех форм золота в эндогенных условиях — свободное компактное золото. Это состояние высшей концентрации элемента. В экзогенных условиях происходит медленное превращение этой формы в подвижные золи и взвеси за счет механического диспергирования компактного металла и металлоорганические — за счет биохимических процессов растворения всех известных устойчивых форм. Установлено, что при окислении серы сульфидов бактериями одновременно протекают процессы с участием АДФ с преобразованием в АМФ, АТФ и поглощением неорганического фосфата. По нашему мнению не менее 70-80% золота прежде, чем попасть в морские осадки участвует в продуктах метаболизма растений и организмов. Мир этих соединений настолько велик и прозрачен, что можно говорить о сотнях его оттенков — фосфофильность, арсенофильность, сульфурофильность, нитрофильность и т.д. Биогеохимия золота — наука XXI столетия и, видимо, с ее будущими успехами будут связаны и крупные открытия новых форм накопления металла. В поисковом отношении биогеохимия сегодня используется очень слабо.

Выделяются два геохимических цикла золота — эндогенный и экзогенный: протозолото (атомарный газ, интерметаллиды, бинарные соединения) → переход в земную кору, концентрация в свободном металле → рассеяние через механическое и биохимическое диспергирование → концентрирование в морских осадках → перераспределение в земной коре с образованием свободной формы. Очевидно, что с момента появления биосферы геохимическая судьба золота связана с ней теснейшим образом. Можно утверждать, что с этого времени геохимия золота определяется геохимией биосферы.

3. Главные вехи в изучении химических свойств золота и их практическом использовании

77–78 г. н.э. Плиний Старший в "Естественной истории" дал сведения о получении серебра и его отделению от золота.

Конец VIII–начало IX вв. Джабир ибн Хайян описал получение царской водки и ее способность растворять золото.

Начало X в. Абу-ар-Рази в "Книге тайн" описал амальгамацию золота.

Середина XII в. Альберт Великий опубликовал "Пять книг о маталлах и минералах" и "Книгу об алхимии", где описал многие свойства золота.

1540 г. Ванноччо Бирингуччо (1480–1539) — директор монетного двора в Сиене (Италия) опубликовал "Пиротехния" в 10 книгах, где описал способы получения золота и серебра из руд, технику амальгамирования, изготовление монетных сплавов.

1556 г. Георгиус Агрикола (О.Бауэр) выпустил "12 книг о металлах", где описал пробирное искусство.

1763 г. М.В.Ломоносов описал основы пробирного анализа и способы получения металлов из руд.

1786–1828 гг. Уильям Хайд Волластон (1766–1828) разработал методы порошковой металлургии для получения изделий из платины и других благородных металлов.

1785–1833 гг. Фаусто де Элуяр (1755–1833) — генеральный директор рудников в Мехико разработал теоретические вопросы амальгамации и анализа полиметаллических руд, содержащих благородные металлы.

1790–1800 гг. Аполос Апполосович Мусин-Пушкин (1760–1805) — директор Берг-Коллегии России описал получение амальгам и сплавов благородных металлов.

1800–1850 гг. Томас Томсон (1773–1852) — профессор Университета Глазго опубликовал результаты исследований соединений благородных металлов для целей количественного анализа.

1801–1840 гг. Петр Григорьевич Соболевский (1782–1841) — управляющий лабораторией Горного Кадетского Корпуса России предложил и применил аффинаж золотистого серебра.

1900–1970 гг. Теодор Сведеберг (1884–1971) — профессор института химии в Упсале (Швеция) выполнил исследования диффузии в коллоидных растворах золота и др. элементов, создал метод ультрацентрифугирования для выделения коллоидных частиц из растворов.

1940–1952 гг. Константин Автономович Ненадкевич (1880–1963) предложил мокрый процесс разложения руды и извлечения золота из нерастворимого осадка. Разработал электролитический способ рафинирования золота из амальгам.

1940–1960 гг. Николай Константинович Пшеницын (1891–1961) — профессор МЦМИЗ и МАИ разработал методы контроля производства благородных металлов (анализ шламов и промпродуктов).

1950–1970 гг. Михаил Тихонович Козловский (1907–1980) — профессор Казгосуниверситета в Алма-Ате разработал теорию амальгам, способы их получения и аналитические методы на этой основе.

1973 г. Борис Николаевич Ласкорин — академик РАН разработал и осуществил в промышленности сорбционные и экстракционные технологии переработки руд золота и серебра.

1980 г. Федор Данилович Овчаренко — академик АН Украины установил явление избирательной гетерокоагуляции микроорганизмов с коллоидными частицами золота.

1980 г. Нил Бартлет — профессор Калифорнийского университета в г. Беркли осуществил синтез соединений золота-V с благородными газами и фтором типа $[Xe_2F_{11}]^+[AuF_6]$.

4. Кларковая геохимия золота

Важной причиной, сдерживавшей развитие геохимии золота, было отсутствие методик высокочувствительного и высокоточного анализа пород и минералов различного состава. Это препятствие было снято после вхождения в практику активационных методов в США, СССР, Японии, Канаде. В СССР — вначале в Томске, затем в Ташкента, Алма-Ате, Свердловске, Новосибирске, Москве, Киеве и других городах началось производство нейтронно-активационных анализов на золото. Наиболее популярны были лаборатории Томска, Ташкента, Москвы, которые достигли мирового уровня качества анализов.

Автор, вместе со светлой памяти Владимиром Викторовичем Уваровым в 1966 г. создал геохимическую группу в лаборатории активационного анализа ИЯФ АН КазССР. С тех пор геохимия золота в горных породах и рудах Казахстана вплоть до внезапной кончины В.В.Уварова изучалась систематически на хорошей геологической и металлогенической основе.

Геохимия любого элемента начинается с его классического раздела — кларков. Данные о содержании золота в неметаморфизованных осадках, осадочно-метаморфических породах, изверженных породах приводятся в тысячах публикаций. В.В.Уваровым этот огромный материал собран, дифференцирован по качеству и достоверности анализов, системно обработан на ЭВМ. Полученные им данные с учетом наших корректив и дополнений дают следующую картину:

•Осадки нелитифицированные (103 выборки и 1275 анализов).

* пелитовые и алевро-пелитовые морские илы шельфа, континентального подножия — 65 мг/т
* диатомовые илы — 57 мг/т
* карбонатные илы — 30 мг/т
* сапропелевые илы шельфа и континентального склона — 80 мг/т
* пелитовые илы и глины глубоководных впадин — 33 мг/т
* песчанистые алевриты и пески шельфа — 27 мг/т

* Осадочные породы (341 выборка и 5873 анализа)
* конгломераты, гравелиты, грубо-крупнозернистые песчаники — 4,8 мг/т
* мелкозернистые песчаники, алевролиты — 6,5 мг/т
* аргиллиты — 7,4 мг/т
* слюдяные сланцы — 10,2 мг/т
* карбонатные породы — 6,7 мг/т
* кремнистые породы — 6,1 мг/т
* "черные" сланцы 14,7 мг/т

•Метаморфические породы (37 выборок и 653 анализа)

* кристаллические парасланцы — 2,9 мг/т
* ортосланцы — 3,5 мг/т
* амфиболиты (орто) — 6,4 мг/т
* (пара) — 3,9 мг/т
* гнейсы биотитовые (пара) — 3,3 мг/т
* ортогнейсы с мигматитами — 5,4 мг/т
* мраморы — 2,2 мг/т
* гранулиты — 3,1 мг/т

•Магматические породы (231 выборка и 19128 анализов)

* ультраосновные породы — 6 ± 2 мг/т
* основные породы — 5 ± 1,5 мг/т
* средние породы — 3,5 ± 1 мг/т
* умереннокислые пород — 3 ± 1,2 мг/т
* кислые породы — 2 ± 0,8 мг/т
* щелочные лейкократовые породы — 1,7 ± 0,6 мг/т

Наиболее надежны данные по изверженным породам, которые сегодня являются, по нашим оценкам, самыми представительными из опубликованных в мировой литературе.

Золото в осадках

Наиболее ранние опубликованные сведения по золотоносности нелитифицированных осадков приведены в работах А. де Грации и Л. Хаскина; П. Бэдеккера и В. Эхмана; Р. Харриса, Д.Крокета и М.Стейтона; Г.Н. Аношина, Е.М. Емельянова, Г.А. Пережогина. Фактические данные этих исследователей статистически обработаны и опубликованы В.А. Нарсеевым и В.В. Уваровым [1977].

Последующие работы этого направления Д. Кроккета, Д. Макдоуголла, Р. Харриса; Д. Пайпера, П. Грейфа; Х. Кьюо; А.П. Ясырева, М.Н. Никитина, М.С. Мельникова, И.А. Трушина; С.Д. Лепкого, А.А. Колесниковой; Г.Н. Батурина, Э.И. Фишера, А.Н. Курского, Т.В. Пучкова, Б.Л. Серебряного, С.И. Шварцмана; А.З. Миклишанского, С.Б. Тамбиева, Ю.В. Яковлева и других авторов дополнили ранее опубликованные данные. Установлено, что в современных осадках отмечаются весьма широкие пределы колебаний содержаний золота. Они закономерно изменяются как с уменьшением крупности частиц осадков, так и в зависимости от их состава. Самые низкие значения средних содержаний золота (менее 1 мг/т) характерны для гравийно-галечных отложений, максимальные (27 мг/т и выше) — для глинистых осадков и илов. В последних, в зависимости от условий формирования, концентрации металла возрастают в следующем порядке: ил глинистый — ил кремнистый — ил карбонатный хемогенный — ил карбонатный биогенный.

Золотоносность осадочных и метаморфических пород изучали постоянно. За последние 10-12 лет опубликованы работы Анкудовича П.М., Абишева В.М., Буряка В.А., Белолипецкого А.П., Болотова В.И., Баскова М.П., Баратова Р.Б., Блюмана Б.А., Гавриленко Б.В., Долженко В.Н., Земцовой А.Г., Кожевниковой Е.Ф., Коробейникова А.Ф., Куликова А.А., Куракиной И.В., Легейдо В.А., Лепезина Г.Г., Мельгунова С.В., Мельниковой Н.Д., Минаева В.Е., Мириевской О.С., Моисеенко В.Г., Назаровой Н.И., Неронского И., Нарсеева В.А., Отакузиева Э., Отрощенко В.Д., Палея Л.З., Пачатжанова Д.Н., Петрова В.В., Петровой З.И., Предовского А.А., Россеевой А.Н., Смыслова В.Ф., Уварова В.В., Усманова И.А., Хлебниковой А.А., Хохлова В.А., Цимбалиста В.Г., Шпотовой Л.В., Ярославского Р.И., Ярошевича В.М. и других исследователей, всего около 50 источников. Свыше 13,5 тысяч высокочувствительных (преимущественно нейтронно-активационных) определений золота позволили получить усредненные значения для пород различных ступеней метаморфизма.

Анализ этих материалов позволил установить, что содержание золота в осадочных и метаморфических породах, как и в случае нелитифицированных осадков, изменяется в весьма широких пределах. Пониженные содержания золота (2,7–8,2 мг/т) отмечены в породах низких ступеней метаморфизма и катагенеза. В породах зеленосланцевой фации и, в особенности, хлорит-серицитовой субфации, концентрации золота достигают значительной величины (12,7–13,2 мг/т), а затем постепенно падают в метаморфитах хлорит-биотитовой (3,6–8,5 мг/т) и эпидот-амфиболитовой (3,3–4,8 мг/т) субфаций. Породы собственно амфиболитовой и гранулитовой ступеней метаморфизма характеризуются крайне низкими и выдержанными содержаниями металла (2,5–3,5 мг/т).

Целесообразно обсудить сведения по распределению золота в породах зеленосланцевой ступени метаморфизма (серицит-хлоритовая и хлорит-биотитовая субфации). Эти данные получены в результате статистической обработки многочисленных литературных и собственных материалов. Всего в процессе обработки участвовало 5873 пробы, сгруппированные в 341 геохимической выборке. Было установлено, что средние содержания золота в различных фациальных разновидностях зеленосланцевых комплексов колеблются в весьма широких пределах от 0,5 до 89,7 мг/т. Оценки средних содержаний распределяются в них следующим образом: в грубообломочных породах (метаморфизованные конгломераты, брекчии, гравелиты, грубо- крупнозерни-

стые песчаники) — 4,8 мг/т; в тонкозернистых породах (сланцы по мелкозернистым песчаникам, алевролитам, метапелиты, филлиты) — 7,4 мг/т; в слюдистых сланцах (слюдяные, слюдисто-песчанистые сланцы, серицитовые сланцы) — 10,2 мг/т; в карбонатных породах (хемогенные, органогенные известняки, доломиты, мергели) — 6,7 мг/т; в кремнистых породах (кварциты, кварцито-песчаники, кремни, лидиты, яшмы) — 6,1 мг/т.

Весьма интересные данные получены нами [Нарсеев и Уваров, 1977] в результате анализа изменения средних содержаний золота в трех основных группах терригенных пород (песчаниках, алевролитах, аргиллитах) во времени. В координатах: содержание золота — геологические периоды, для трех групп пород на кривых совершенно отчетливо выделяются эпохи накопления золота в терригенных комплексах, отвечающие крупным этапам размыва консолидированных блоков земной коры (кембрий — ордовик, поздний девон — ранний карбон, поздний карбон — пермь, юра — мел, мел — олигоцен). Результаты данных исследований свидетельствуют о наличии таких же процессов в рифее. Сведения по золотоносности современных осадков и формирование четвертичных россыпей также фиксируют эпоху размыва континентов и накопления золота в терригенных породах в настоящее время. Полученные результаты хорошо согласуются с данными Д.С. Шера [1971, 1974] о распределении запасов золота на земном шаре по периодам и подтверждаются последующими работами А.М. Карпунина о строгой периодичности образования рудных концентраций в истории геологического развития Земли, определяемой величиной галактического года (220 млн. лет). Выделенные нами периоды накопления золота в терригенных толщах отвечают следующим эпохам: карельской (делийской — 795 млн. лет), байкальской (575 млн. лет), бретонской (355 млн. лет), колымской (135 млн. лет) и некоторым второстепенным эпохам накопления рудных концентраций, проявляющимся в рамках галактического года через 55 млн. лет.

Золотоносность углеродистых комплексов черносланцевых толщ

В последнее время значительное внимание исследователей привлекает проблема рудоносности терригенных углеродсодержащих толщ относимых к углеродистым или черносланцевым формациям. Применительно к золоту эти вопросы детально рассмотрены в работе автора [Нарсеев, 1980] и А.Ф. Коробейникова [1990]. В этих работах на основании обобщения многочисленных литературных материалов и результатов личных наблюдений показано, что золотоносность углеродистых пород в различных структурно-формационных зонах земной коры неодинакова и изменяется в весьма широких пределах. В большинстве исследованных регионов (80%) концентрации золота в углеродсодержащих разностях пород в 5-10 раз превышают содержания его в глинистых сланцах. Главным минералом-концентратором золота в породах углеродистых толщ является пирит. В углеродистом веществе разной степени метаморфизма содержится от 16 до 60% металла. Оценка среднего содержания золота в углеродсодержащих породах черносланцевых формаций различных структур земной коры составляет 14,7 мг/т.

В.А. Буряком [1976] систематизировано свыше 5000 химических анализов и более 3000 кларковых определений золота в породах из углеродсодержащих толщ Сибири и Дальнего Востока. Отмечено, что рудоносные метаалевросланцы, хотя и незначительно, но отличаются по составу от безрудных подобных образований. Для первых характерна пониженная известковистость, более низкое известково-магнезиальное отношение (0,3–0,6 против 0,6–0,8 в нерудных сланцах), более значительное преобладание закисной формы железа над окисной (2,3–1,6 против 1,2–1,4); С орг. изменяется в пределах 0,5–6%.

Аналогичные результаты получены в исследованиях А.Ф. Коробейникова по Западной Сибири и Енисейскому кряжу, В.В. Коткина и Ю.И. Тверитинова по Бодайбо,

В.А. Буряка — по Селемджинскому району, В.А. Амузинского по Якутии, В.Н. Долженко по Срединному Тянь-Шаню, В.А. Нарсеева и В.В. Уварова по Казахстану, В.Я. Вихтера и Н.И. Назаровой по Кызылкумам. Оценки средних содержаний золота в углеродистых породах по данным А.Ф. Коробейникова (14,7 мг/т) и по нашим (12,2 мг/т) хорошо согласуются со среднестатистическим значением золотоносности метаосадочных пород зеленосланцевой фации (13,2 мг/т), без разделения последних по формационным признакам или в зависимости от состава обломочного материала.

В процессе седиментогенеза реализуется целый ряд механизмов мобилизации, переноса и переотложения золота, что в конечном счете и определяет повышенный уровень концентрации его в нелитифицированных осадках. Общая тенденция поведения золота при литогенезе и метаморфизме терригенных пород отчетлива. Если современные илы содержат довольно высокие количества металла (в среднем около 27 мг/т), то содержание его в горных породах, возникших на ранних стадиях литификации осадков (стадии диагенеза-катагенеза по Н.Б. Вассоевичу), составляет 6–8 мг/т. Градиент концентрации металла между тонной сухого илового материала и тонной терригенной неметаморфизованной породы достигает 20 мг или около 40 т/км^3. Вынос золота и других рудогенных компонентов из зоны катагенеза осуществляется высококонцентрированными элизионными растворами, образующимися на глубинах 1300–3700 м в температурном интервале 85–125°С. По мнению В.А. Буряка [1976] формирование подобных растворов происходит за счет насыщения зерновых, поровых и иловых вод продуктами разложения и десорбции органического вещества — кремнием, карбонатом, хлором, фтором, бором, золотом, другими петрогенными, летучими и рудными элементами. Растворы стадии диагенеза-катагенеза имеют углеродисто-хлоридно-натриевый состав. Они мигрируют в вышележащие горизонты слаболитифицированных и нелитифицированных отложений, где образуют золотосодержащую медно-колчеданную, серно-колчеданную и колчеданно-полиметаллическую минерализацию стратиформного типа. Однако, промышленных концентраций золота эти растворы не формируют. Перераспределение золота в осадочных породах происходит многократно и на различных стадиях их метаморфизма. Породы низких ступеней метаморфизма (хлорит-серицитовая, хлорит-биотитовая фации) характеризуются наиболее неоднородными и относительно повышенными содержаниями золота. Высокометаморфизованные осадочные породы (стадия амфиболитовая и более высокие) содержат самые низкие количества металла при весьма однородном его распределении. Градиент концентрации золота между породами зеленосланцевой ступени метаморфизма и гранулитами составляет 5–10 мг/т или 10–25 т/км^3. Вынос золота, серебра, сурьмы, ртути, и других рудных элементов в области пониженных температур и давлений осуществляется метаморфогенными-гидротермальными растворами, насыщенными рудными компонентами за счет разложения темноцветных силикатов, окислов и сульфидов. По данным Миронова с соавторами [Миронов и др., 1989] и других исследователей наиболее вероятной формой переноса экстрагированного из пород и рудных минералов золота будут гидросульфидные, тиомышьяковые и кислые хлоридные соединения типа HS^-, As^{3-}, $H_2[OCl_3]^{3-}$. Перенос вещества осуществляется по микропоровым и межзерновым пространствам. Установлено, что продуктивная стадия формирования гидротермальных золоторудных месторождений соответствует довольно узкому интервалу температур (280–320°С) и давлений (1–3 кбар). Аналогичные термодинамические условия отвечают образованию таких минералов, как серицит, хлорит, кварц, карбонат, т.е. главных породообразующих минералов серицит-хлоритовой зоны зеленосланцевого метаморфизма. Таким образом, формирующиеся в процессе регионального метаморфизма фации зеленых сланцев, являются наиболее благоприятными для накопления повышенных количеств золота [Чеботарев, 1969]. Сделанный вывод обосновывается энергетическими и структурными свойствами слагающих метапороды минералов — несовершенством связей по определенным направлениям кристалличе-

ских решеток, вследствие чего происходит развитие плоскостей спайности, дефект-каналов, микрополостей и других дефектов. Крайне неоднородные концентрации металла могут образовываться в породах низких ступеней метаморфизма при наложении на них высокоградиентных температурных полей и последующих интенсивных гидротермально-метасоматических преобразований. Весьма благоприятные для рудоотложения условия в слабометаморфизованных обогащенных золотом толщах пород возникают в случае внедрения в них гранитоидных интрузий.

Интрузивный магматизм по мнению большинства исследователей является наиболее мощным активизирующим фактором, приводящим к перераспределению рудного (в том числе и золоторудного) вещества. Однако, поведение золота в зонах контактового метаморфизма неодинаково. Известны случаи потери золота вмещающими породами при их ороговиковании. В других условиях по данным В.Г. Моисеенко [1965] термальный контактовый метаморфизм приводит к перераспределению золота с образованием локальных его концентраций в слабозолотоносных породах. Пробность золота при этом возрастает. Л.В. Ли и О.И. Шохиной еще в 1974 г. показано, что на фоне общего изохимического характера регионального метаморфизма докембрийских пород Енисейского кряжа, процесс глубокой перестройки минерального состава метаморфитов в условиях высокотемпературных фаций сопровождался внутренним перераспределением и рассеянием золота в породах. О потере золота в породах высоких ступеней метаморфизма и его накоплении в фациях цеолитовой и зеленосланцевой однозначно свидетельствуют весьма представительные данные Ю.И. Тверитинова, приведенные им в докторской диссертации в 1991 г. Для рудных районов юга Восточной Сибири показано, что в породах высоких фаций метаморфизма содержания золота и серебра минимальны. И.В. Яо, Э.А. Развозжаевой, В.В. Левицким и другими исследователями в Бодайбинском районе установлена пространственная приуроченность максимальных концентраций золота и органического вещества к центральным частям зон контактового метаморфизма, развившихся в углеродосодержащих сланцевых толщах рифея при взаимодействии их с гранитоидными интрузивами. В работах В.А. Буряка, С.М. Жмодика, В.Т. Григорьева, А.А. Стороженко, В.В. Уварова, В.М. Абишева, В.А. Нарсеева и др. показано, что в породах высоких метаморфических фаций содержания золота ниже, чем в низкометаморфизованных, но выше, чем в магматитах.

Детальное исследование Петровой З.И. и Хлебниковой А.А. [1977] распределения золота в породах зоны ультраметаморфизма Алданской слюдоносной провинции показало довольно высокую неравномерность содержаний и обогащенность им меланократовых разностей (таблица 20). При этом авторы подчеркивают положительную связь золота с содержанием магния в породах.

Таблица 20

Средние содержания золота (мг/т) в породах зоны ультраметаморфизма [Петрова и Хлебникова, 1977]

№№ п/п	Породы	Число проб	$\overline{X}$	Колебания	
				от	до
	Гранулитовая фация (сланцы)				
1	биотит-амфибол-гиперстен-плагиоклазовые	7	9,1	7,1	13,0
2	двупироксен-амфибол-плагиоклазовые	8	6,4	2,3	12,2
3	биотит-диопсид-амфибол-плагиоклазовые	6	8,2	4,3	14,3
4	биотит-диопсидовые и диопсид-плагиоклазовые	4	3,9	2,9	6,1
5	кварц-диопсид-плагиоклазовые	5	5,4	2,2	13,2
	Ультраметаморфиты				
6	плагиомигматиты	17	7,9	2,0	17,0
7	теневые калишпатиты	15	5,4	2,0	14,0
8	скарноиды	4	4,0	3,6	4,3

А.Ф. Коробейников, А.Л. Кулаковский и Н.Н. Перцев [1988] приводят данные по содержаниям золота в высокометаморфизованных породах раннего докембрия района Таежного железорудного месторождения (Центральный Алдан). Наименее измененными разностями пород являются роговообманковые и клинопироксеновые кристаллические сланцы и амфиболиты (табл. 21).

Таблица 21

Средние содержания золота (мг/т) в породах района Таежного месторождения [Коробейников и др., 1988]

№№ п/п	Породы	n	$\overline{X}$	S^2	V
1	Мраморы	20	2,90	-	-
2	Карбонатные породы	24	3,08	1,61	41
3	Кристаллические сланцы	10	2,87	3,39	64
4	Амфиболиты	12	2,67	-	-
5	Кварциты	20	3,53	3,27	51
6	Графитсодержащие гнейсы	4	3,30	1,03	30

Золото в магматических породах

Данные о средних содержаниях золота в различных типах магматических пород приводятся во многих работах. Одно из самых полных обобщений сделано В.В. Уваровым. При этом использованы для расчета кларков наиболее представительные и достоверные результаты В.А. Амузинского, Г.Н. Аношинна, В.Д. Беды, И.Н. Бушменова, Н.Т. Воскресенской, М.Н. Годлевского, И.К. Давлетова, Н.Ф. Зверевой, А.Ф. Коробейникова, Г.Г. Кухтинского, В.Г. Моисеенко, Л.З. Палея, Г.А. Пережогина, Н.Ф. Пчелинцевой, Э.М. Спиридонова, В.В. Уварова и др., К.У. Урунбаева, П.В. Уханова, Н.Х. Хамрабаева, В.А. Шедзинского, Н.Л. Шилина, С.А. Щеки, Ю.Г. Щербакова, Р.Г. Юсупова, J.H. Crocket, D. Gottfried, A.R. de Gracia, L. Haskin, R.S. Jones, Phankien Duond, J.J. Row, A.A. Smales, R.T. Tilling, E.A. Vincent, R.P. Viljoenetal.

В таблице 22 представлены наиболее надежные оценки ведущих авторов.

Таблица 22

Средние содержания золота в главных типах магматических пород

№№ п/п	Типы пород	Содержания мг/т					
		1	2	3	4	5	6
1	Ультраосновные (дуниты, перидотиты, пироксениты, меймечиты)	6,0	5,0	9,6	6,0	4,5	4,8 (29/776)
2	Основные (габбро, нориты, диабазы, базальты)	4,0	4,0	6,1	3,6	7,2	4,4 (49/2557)
3	Средние (диориты, диоритовые порфириты, андезиты, андезито-базальты)	-	-	-	2,8	4,7	3,6 (40/4766)
4	Умереннокислые (гранодиориты, плагиограниты, тоналиты, гранодиорит-порфиры, дациты)	4,0	4,5	-	1,2	2,7	3,2 (46/4373)
5	Кислые (граниты, гранит-порфиры, аплиты, пегматиты, кварцевые порфиры, липариты)	4,0	4,5	2,0	0,8	2,7	1,7 (44/4258)
6	Щелочные (сиениты, нефелиновые сиениты, граносиениты, фонолиты)	-	-	-	-	2,1	1,3 (23/643)

Оценки: 1 - К.К. Turekian, К.Н. Wedepohl, 1961; 2 - А.П. Виноградов, 1962; 3 - Ю.Г. Щербаков, 1967, 1974; 4 - А.А. Беус, С.В. Григорян, 1975; 5 - R.W. Boyle, 1979; 6 - В.В. Уваров, 1989 (в скобках: числитель - число выборок, знаменатель - число проб).

В таблице 23 даны среднеарифметические значения содержаний золота в различных породах по данным сотен выборок (по опубликованным данным). Видна

довольно пестрая картина, где природные дисперсии среднего неопределенным образом увеличиваются техническими причинами (чистота отбора проб, точность анализа). На основании всех данных средние оценки содержаний (мг/т) золота таковы: ультраосновные породы — 6 ± 2,0; основные — 5 ± 1,5; средние — 3,5 ± 1,0; умеренно-кислые — 3 кислые — 2 ± 1,2; и лейкократовые щелочные — 1,7 ± 0,6; Эти цифры следует использовать при общих геохимических построениях, т.к. они являются весьма представительными.

Таблица 23

Средние содержания и пределы колебаний содержаний золота в магматических породах

№№ п/п	Породы	Число проб	Содержание, мг/т		
			средние	колебания	
				от	до
1	Дуниты, перидотиты, пироксениты	361	5,6	1,2	22,0
2	Габбро, нориты, габброиды	929	5,7	0,6	12,0
3	Диориты, кварцевые диориты	2447	4,2	1,9	6,7
4	Гранодиориты, тоналиты	2163	4,9	1,0	11,4
5	Граниты	2439	1,7	1,1	3,3
6	Гранитоиды	590	2,7	1,1	5,4
7	Сиениты, граносиениты, фонолиты	444	3,0	0,4	5,7
8	Кимберлиты, пикриты	52	5,3	2,2	18,0
9	Диабазы, диабазовые порфириты	388	3,9	1,8	7,8
10	Диоритовые порфириты	97	3,1	1,1	5,2
11	Гранодиорит-порфиры	154	3,3	1,8	3,8
12	Гранит-порфиры, аплиты	1001	1,6	1,2	3,3
13	Базальты, толеиты, спилиты	656	5,0	1,7	14,9
14	Андезитобазальты	890	2,5	1,8	4,8
15	Андезиты	453	3,6	1,3	10,7
16	Дациты	90	2,2	0,8	20,0
17	Липариты, фельзиты, кварцевые порфиры	526	1,1	0,7	6,2

Поведение золота в магматическом процессе

Ранние представления о поведении золота в магматическом процессе принадлежат Ф. Кларку, Л. Аренсу, Э. Винсенту и Д. Крокету, Г.Н. Аношину. Согласно их данным золото инертно и не диспропорционируется в продуктах магматической дифференциации. Первично повышенные содержания золота в магматитах эти исследователи связывали с первичной неоднородностью верхней мантии или взаимодействием первичных магм с морской водой [Аношин, 1977].

В отличие от упомянутых работ в исследованиях Ю.Г. Щербакова, Б.В. Гавриленко, Д. Готфрида, Р. Тиллинга, Д. Роуза К. Краускопфа, Э.Мантеи, А. Браунлоу, Н.Л. Шилина, В.В. Уварова и других отмечается неоднородное распределение содержаний золота в продуктах магматической дифференциации. Наиболее важное значение в создании неоднородности содержаний по фазам и фациям магматитов при этом имеет режим летучих, прежде всего, хлора. Другие свойства золота — сидерофильность и халькофильность содействуют его накоплению в железистых ферритных и сульфидных дифференциатах. Большая группа исследователей рудных районов приводит данные о накоплении золота в магматитах специфических золотоносных комплексов Кызылкумов, Казахстана, Колымы, Алтае-Саяна, Якутии и др. районов [Коробейников, 1986, 1988 а, 1988 б].

Основываясь на данных по химии золота [Паддефет, 1982], общих принципах развития геохимических систем В.И. Вернадского и фундаментальных исследованиях по общей геохимии элементов С.Т. Бадалова, представляется, что активное поведение золота в магматическом процессе является наиболее вероятным. Проявление сидерофильных свойств золота способствует возникновению его концентраций в ферромагнезиальных силикатах и ферритовых кумулятах расслоенных комплексов. Халькофильность золота определяет его накопление в сульфидных вкрапленных и массивных ликватах ультраосновных и основных комплексов. Галогенофильность золота может оказаться определяющей в появлении специфических концентраций в связи с ультраосновными щелочными и щелочными нефелин-сиенитовыми комплексами. Это же свойство при проявлении в расслоенных комплексах непременно приведет к обогащению светлых кумулятов золотом с образованием рифов, аналогичных Стиллуотеру.

Для кларковой геохимии золота характерны разнообразные формы нахождения.

В отношении формы нахождения золота в различных типах пород можно отметить следующее.

• Нелитифицированные осадки

* Кластогенное золото до размерности до 1 мкм–100 А и менее.
* Сорбированное физически, химически и адгезионное золото на глинистых частицах, гумусе, гидроокислах, гелях сульфидов, кремнезема.
* Металлоорганика двух типов; гумусовая и сапропелевая, последняя имеет значительно большее значение.
* Хлоридные ионные формы
* Симбиотические формы: мхи и простейшие водоросли.

• Породы доамфиболитовой стадии метаморфизма

* Кластогенное
* Элементарное в сульфидах
* Металлоорганическое в рассеяном органическом веществе
* Свободное новообразованное

• Породы высоких ступеней метаморфизма

* Свободное новообразованное рассеяное (в т.ч. интерметаллиды)
* Интерметаллиды
* Кластогенное (остаточное)
* Элементарное в сульфидах (новообразованное и остаточное)
* Изоморфно-интерметаллидное в Fe-силикатах, ферритах

• Магматические породы

* Ультраосновные
  – свободное и в интерметаллидах (Pt, Ni, Fe)
  – в изоморфной (интерметаллидной) форме в NiFe силикатах, ферритах
  – в сульфидах Ni, Fe, Cu
* Основные
  – в изоморфной (интерметаллидной) в Fe-силикатах, ферритах, самородных металлах и металлидах
  – в сульфидах Fe, Ni, Co, Cu
* Средние и среднекислые
  – в изоморфной (интерметаллидной) форме Fe-силикатов, ферритов
  – свободное
  – в сульфидах автоберезитов и автопропилитов
* Кислые
  – свободное
  – в изоморфной с Fe (интерметаллиды) в темноцветных биотитах, ферритах

– в сульфидах автоберезитов

* Щелочные лейкократовые

  – свободное

  – в сульфидах автофенитов

Некоторые следствия

Развитие представлений о поведении золота во всех природных процессах — от накопления осадков до их метаморфизма и гранитизации однозначно свидетельствует о главном. Золото, в силу своей высокой самородности образует широкую гамму эфемерных соединений, состав и свойства которых определяются условиями Среды "сиюминутного" нахождения. Особенно высока роль в переносе золота галогенов — в эндогенных условиях и органических соединений — в экзогенных. Как это ни парадоксально, высокая самородность определяет высокую подвижность золота. Но всегда конечным устойчивым состоянием этого элемента является атомарное в широчайшем диапазоне — от атомарного газа Вселенной до компактных макросгустков (самородков).

Такое поведение определяет важное следствие для рудной геохимии и геологии золота — многообразие форм концентрирования, т.е. типов месторождений. Дело времени (развития технологии), чтобы эти концентрации становились экономически привлекательными для человека.

IV. Геология золоторудных месторождений

В классической работе В. Эммонса "Золоторудные месторождения мира", до сих пор не утратившей своего познавательного значения, даны описания сотен месторождений. Ясность и краткость изложения в сочетании с полнотой характеристики руд и сегодня могут служить примером. Монографии А. Бетмана, В. Линдгрена, В.И. Смирнова, Е.М. Некрасова, Н.В. Петровой, В.Г. Хомича, Н.В. Нестерова, коллективов авторов Узбекистана, Казахстана, ЮАР, ЦНИГРИ, С.Д. Шера, Р. Бойля, Г. Шнейдерхена, У. Петерсена, юбилейные издания Economic Geology, труды всемирных Съездов специалистов по золоту (Бразилия, Канада, Италия, Китай) содержат богатейший описательный материал, обобщить который, видимо, не под силу никому.

Наша задача намного скромнее по масштабу — дать выборочное описание отдельных месторождений, показав, что они не отличаются по своему устройству от мелких, что они не являются "патологическим произведением природы". Дело в том, что именно на основе изучения крупных и крупнейших месторождений основаны все наши представления о рудной, в т.ч. и золоторудной геологии.

1. Классификация промышленных золоторудных месторождений

По мере развития знания и потребностей практики классификации месторождений приобретали целевой характер, возрастала их сложность. В последние 15 лет в связи с развитием формационного подхода научные классификации приобрели сложное системное строение. Целевые классификации — для прогноза, поисковые, промышленные, технологические и другие также существенно усложнились. Применение ЭВМ позволило создать ряд автоматических классификаций. Обстоятельный обзор основных научных классификаций выполнен В.Д. Мельниковым в 1984 году. Ретроспективный анализ классификаций месторождений золота от В. Линдгрена [1948] до наших дней показывает, что основаниями классификаций были преимущественно вещественные, в той или иной мере сопровождаемые гипотетическими построениями. Так, В. Линдгрен [1948] за основу принимал состав вмещающих пород, метасоматитов, температуру образования и минеральный состав руд. В России первая классификация руд золота связана с именем А.И. Тетяева. А.Я. Булынников в 1931г. классифицировал месторождения по минеральному (и химическому) составу и метасоматитам. Впервые Е.Е. Захаров дал формационную классификацию, которая в последующем развивалась Н.А. Шило, Н.А. Фогельман, Г.П. Воларовичем, Н.И. Бородаевским, Е.А. Радкевич и В.Г. Моисеенко, Ю.Г. Щербаковым, Р. Бойлем, специалистами ЦНИГРИ [Нарсеев и др., 1988].

Параллельно с этим направлением, начиная с работ П.И. Скорнякова, Ф.И. Вольфсона и Н.В. Петровской, развивалось минералого-геохимическое направление классификации. Существенный вклад сделан в работах А.А. Малахова, Д.А. Тимофеевского, С.Д. Шера, М.М. Константинова, В.А. Амузинского, А.Ф. Коробейникова, М.С. Сахаровой, В.А. Нарсеева, В.Г. Хомича.

Необходимо отметить оригинальные вещественно-структурные классификации Е.М. Некрасова, Ю.Г. Щербакова, П.А. Строны, Ю.П. Ивенсона и В.И. Левина, Ю.М. Щепотьева , М.М. Константинова, В.Г. Хомича, А.Ф. Коробейникова.

Обобщение данных В.Д. Мельникова [1935] показало, что наиболее часто авторы используют в своих классификациях 1–3 признака. При этом наиболее часто это — вещественные признаки руд и метасоматитов.

Сегодня можно сказать, что формационные классификации наиболее удовлетворительно отражают условия образования и состав месторождений золота. В качестве примера приводится систематика ЦНИГРИ (Табл. 24), на основе которой с успехом могут быть развиты частные классификации геохимических, минеральных, структурных, метасоматических и других типов месторождений.

Таблица 24

Типизация золоторудных месторождений фанерозоя [Щепотьев и др. 1994] с дополнениями

Семейства рудных формаций	Рудные формации	Геологические формации РВ-рудовмещающие РГ-рудогенерирующие РН-рудоносные	Минералогические (геохимические) типы	Примеры
Золоторудные формации в складчатых системах мезо-миогеосинклиналей, включая зоны ранней ТМА на миогеосинклинальном основании	Золото-(сульфидно)-кварцевая в породах интрузивов и около интрузивной рамы	терригенные, в т.ч. углеродистые (РВ), габбро-диорит-гранодиоритовая, гранодиорит-гранитная, граносиенит-гранитная (РГ, РГ=РВ)	пирит-арсенопиритовый с шеелитом и минералами висмута (висмут-вольфрам-мышьяковый), полисульфидно-кварцевый (полиметаллический), пирит-арсенопиритовый (мышьяковый)	Каральвеем, Мурунтай, Советское, Зармитан, Школьное
	Золото-кварц-сульфидная в терригенных углеродистых комплексах	терригенные углеродистые (РВ=РН), габбро-диорит-гранодиоритовая (РГ-?)	кварц-пиритовый	Сухой Лог, Вернинское, Амантайтау
	Золото-алюмосиликатная в скарнах	габбро-диорит-гранодиоритовая, гранодиорит-гранитная (РГ), известковистых и магнезиальных скарнов (РВ=РН)	пирит-арсенопиритовый с медной и висмутовой минерализацией (медно-висмут-теллуровый), пирит-халькопирит-пирротиновый с молибденитом и медно-висмут-платино-палладиевой минерализацией (медно-висмут-платино-палладиевый)	Тарор, Мосриф, Кумбель, Рабиджан, Куру-Тегерек
	Золото-сульфидная в терригенных углеродистых комплексах	углеродистые терригенные (РВ=РН); комплексы даек “пестрого” состава	пирит-арсенопиритовый с тонкодисперсным золотом (мышьяковистый), пиритовый (безмышьяковистый), пирит-арсенопиритовый с тонкодисперсным золотом и сульфосолями серебра (мышьяково-сурьмяно-серебряный)	Олимпиада, Майское, Бакырчик, Кумтор, Высоковольтное
	Золото-кварцевая в терригенных углеродистых комплексах	терригенные углеродистые (РВ=РН)	кварцевый малосульфидный	Дуэт, Бриндакит, Бендиго, Баларат

Таблица 24 (продолжение)

Семейства рудных формаций	Рудные формации	Геологические формации РВ-рудовмещающие РГ-рудогенерирующие РН-рудоносные	Минералогические (геохимические) типы	Примеры
Золоторудные формации в складчатых системах эвгеосинклиналей, включая зоны ранней ТМА на эвгеосинклинальном основании	Золото-(сульфидно)-кварцевая в породах интрузивов и околоинтрузивной рамы	вулканогенно-терригенные (РВ), карбонатные (РВ), габбро-диорит-гранодиоритовая, адамеллит-плагиогранитная, диоритовая малых интрузий	пирит-(арсенопирит)-кварцевый, полисульфидно-кварцевый (полиметаллический)	Кочкарское, Юбилейное, Дарасунское, Берикуль, Васильков-ское
	Золото-кварц-сульфидная в карбонатных и терригенно-карбонатных комплексах	карбонатные (РВ), терригенно-карбонатно-вулканогенные (РВ), габбро-диорит-гранодиоритовая (РГ)	кварц-пиритовый с антимонитом и киноварью (мышьяк-сурьмяно-ртутный), кварц-пиритовый с теллуридами (теллуровый)	Воронцов-ское, Светлинское
	Золото-сульфидная в вулканогенно-осадочных комплексах	карбонатно-вулканогенно-терригенные (РВ=РН?), базальтоидные (РВ=РН?), габбро-диорит-гранодиоритовая (РВ=РГ?)	пиритовый (мышьяковистый), пирит-арменопиритовый (мышьяковистый)	Миндякское, Тахтаровское
	Золото-кварц-аллюмосиликатная в скарнах	карбонатные и вулканогенно-карбонатные формации (РВ), формации известковых и магнезиальных скарнов (РН), габбро-диорит-гранодиоритовая (РГ)	халькопирит-(борнит)-висмутин-теллуридный (медно-висмут-теллуровый_	Синюхинское, Тарданское, Натальевское
	Золото-колчеданная в вулканогенно-осадочных комплексах	базальт-андезит-дацит-риолитовая, базальт-риолитовая (РВ=РН=РГ)	халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовый (полиметаллический)	Баймакский р-он Майкаин
Золото-серебряные формации в наложенных вулкано-плутонических поясах и континентально-рифтовых системах заключительной стадии ТМА	Золото-халцедон-кварцевая в породах активизированного субстрата и основания ВПП	гранитоидов, вулканогенно-терригенные и терригенные (РВ), риолит-трахилипаритовая (РГ), щелочно-базальтовая (РГ), андезитовая (РГ)	собственно золотой, теллуридный (теллуровый), селенидный (селеновый)	Балей, Хисикари (Япония) Поргера Романа (Папуа-Нов. Гвинея)
	Золото-(сульфидно)-халцедон-кварцквая в интрузиях гранитоидов и вулканогенных породах околоинтрузивной рамы	андезитовая, габбро-диорит-гранодиоритовая (РВ=РГ=РН)	полисульфидный с сульфидами и сульфосолями серебра (полиметаллически-серебро-золотой), полисульфидный с теллуридами золота и серебра (полиметаллически-золотой)	Многовершинное, Аметистовое, Комшток (США), и Эль-Индио (Чили)

Таблица 24 (продолжение)

Семейства рудных формаций	Рудные формации	Геологические формации РВ-рудовмещающие РГ-рудогенерирующие РН-рудоносные	Минералогические (геохимические) типы	Примеры
	Золото-адуляр-халцедон-кварцевая в эффузивно-субвулканических комплексах	андезито-базальтовая, щелочно-базальтовая, андезито-дацитовая, дацит-риолитовая, риолит-трахириолитовая, базальт-андезит-дацит-риолитовая (РВ=РГ=РН)	золото-серебро-сульфидный (золото-серебряный), селенидный (селеновый), теллуридный (теллуровый), собственно золотой	Карамкен, Хаканджа, Агинское, Кусикино (Япония), Вайхи (Нов. Зеландия), Бараньевское, Оатмэн (США)
	Золото-аргиллизитовая в отложениях горячих источников	базальт-андезит-дацитовая и дацит-риолитовая (РВ=РГ=РН), спилит-диабазовая (РВ), вулканогенно-осадочная (кальдерных озер) (РВ)	пирит-мельниковит-антимонит-реальгаровый с киноварью и тонким золотом (мышьяк-сурьмяно-ртутный), кварц-пиритовый с теллуридами и тонким золотом	Парадайз Пик, Харебрук, Стимбот-Спринг (США), Пуэбло-Вьехо (Доминиканская Республика), Вайракеи, Келчан, Бродлендерс (Нов. Зеландия)
Золоторудные формации в зонах ТМА чехла древних платформ	Золото-кварц-адуляр-сульфидная в терригенных и карбонатных комплексах,	терригенные (РВ), карбонатные (РВ), дайковый комплекс лампрофиров-ортофиров (РГ),	пиритовый с теллуридами (теллуровый)	Куранах, Тас-Юрях
	золото-карбонат-сульфидная в карбонатных комплексах	карбонатные (РВ), габбро-сиенит-граносиенитовая (РГ), трахит-трахиандезитовая (РГ)	полисульфидный (медно-свинцово-цинковый)	Лебединое, Тинтик (США)
	Золото-кварц-сульфидная в углеродистых терригенно-карбонатных комплексах	терригенно-карбонатные (РВ), габбро-диорит-гранодиоритовая (РГ)	пиритовый (таллий-сурьмяно-ртутно-мышьяковистый)	Карлин, Меркур, Голд-Кворри (США), Пилгримс-Рест (ЮАР)

В качестве примера (табл. 25) приведем систематику золото-серебряных месторождений В.Г. Хомича (1983).

Таблица 25

Систематика золото-серебряных месторождений вулканогенных поясов и зон тектоно-магматической активизации

№№ п/п	Формация (Au/Ag в рядах)	Минеральные типы	Минеральные ассоциации	Тип метасоматитов	Магматические породы, близкие к оруденению	Примеры
1	Серебро-золотая (> 1,0) в карбонатах	Золото-пиритовый, золото-пираргиритовый ?	Кварц, халцедон карбонаты, адуляр, пирит, халькопирит, галенит, аргентит, пираргирит, прустит, сфалерит, марказит	аргиллизиты, кварц-гидрослюдистые ?	B_3C, покровы и экструзии липарито-дацитов, трахидацитов ?	Белая гора, Сан-Юлиан ?

Таблица 25 (продолжение)

№№ п/п	Формация (Au/Ag в рядах)	Минеральные типы	Минеральные ассоциации	Тип метасоматитов	Магматические породы, близкие к оруденению	Примеры
2	Золото-теллуридная (>10-1,0)	Калаверитовый	кварц, флюорит, карбонаты, адуляр, барит, пирит, галенит, сфалерит, магнетит, гематит, киноварь, теннантит, калаверит, теллуриды золота, серебра	пропилиты	$B_2Б$, покровы андезитов-базальтов, трахибазальтов	Криппл Крик, Айдахо Спрингс, Централ Сити
	в карбонатах (?)		антимонит, киноварь, канфильдит, мелонит	?	субвулканические тела и дайки латит-фонолитов, сиенитов, мончикитов, вогезитов	?
3	Серебряная с золотом и селенидами, (10^{-2} - 10^{-3})	серебро-аргентитовый, аргентит-полибазитовый с селенидами, золото-аргентитовый, золото-сульфоантимонитовый с селенидами, золото-галенит-сфалеритовый	кварц, адуляр, сидерит, анкерит, кальцит (железо-марганцевые карбонаты), родонит, родохрозит	аргиллизиты, алуниты, пропилиты	B_2C, покровы и экструзии игнимбритов, трахидацитов, липаритов, фельзитов, субвулканические тела и дайки порфиров, невадитов, интрузивы порфиров, лейкогранитов, граносиенитов	Пачука, Гуанохуата, Потоси, Чокайя, Читоси, Огуши, Сеитоши
	Серебро-полиметаллическая в карбонатах	серебро-галенит-сфалеритовый		окварцевание		Эль Потоси, Колквирка, Сьерро де Паско
4	Золото-серебро-селенидная (<1 - <10^{-1})	золото-пирит-серебро-антимонитовый, золото-пираргиритовый, золото-полибазитовый, Золото-полибазит-науманитовый, золото-науманит-агвиларитовый	кварц, адуляр, родонит, родохрозит, кальцит, флюорит, пирит, марказит, галенит, сфалерит, селениды и сульфосоли	пропилиты, аргиллизиты, алуниты, цеолиты, карбонаты	$B_2Б$, покровы базальтов, андезито-базальтов, трахиандезитов, субвулканические тела и дайки диоритовых порфиритов, сиено-диоритов	Агатовское, Акупан, Антамок, Тавда, Голдфилд, Магнолия, Флетхед, Байя де Ариеш, Балей
	Тонкодисперсного золота в карбонатах	?	?	?	?	?

Таблица 25 (продолжение)

№№ п/п	Формация (Au/Ag в рядах)	Минеральные типы	Минеральные ассоциации	Тип метасоматитов	Магматические породы, близкие к оруденению	Примеры
5	Золото-серебро-теллуридная (>10>>1)	золото-пирит-сульфоантимонит-петцитовый, золото-пирит-пираргиритовый с теллуридами, золото-тетраэдрит-теллуридный	кварц, карбонат, марганцевые карбонаты, родохрозит, ангидрит, адуляр, пирит, арсенопирит, марказит, теллуриды и сульфосоли	аргиллизиты, цеолиты, пропилиты, адуляриты, алуниты, карбонаты	B_1C, покровы и экструзивы липарит-дацитов, липаритов, фельзитов, дайки гранодиоритов, порфиритов	Карамкен, Хаканджа, Лебонг-Донок, Де Ламар, Тускарора, Тонопа, Оатмен, Ярбридж, Конисток, Кусикино, Конамаи, Уайхи, Эль Ато
	Теллуристого золота в карбонатах	золото-реальгар-аурипигментовый		окварцевание		Карлин Гетчелл, Меркур, Кортец
6	Золотая с теллуридами (>1)	золото-полисульфидный с теллуридами, золото-галенит-сфалеритовый, золото-пирит-арсенопиритовый	кварц, халцедон, карбонаты железа и марганца	пропилиты, кварц-гидрослюдистые	$B_1Б$, покровы андезитов, андезито-дацитов, порфиритов	Ойра, Тамес, Карамандел Лебонг-стрик, Теллурайд-Сильвертон Боди, Санлайт
	скарновая в карбонатах	пирит-арсенопиритовый с теллуридами, магнетитовый с теллуридами		кварциты		Тсенкгиван, Муара Сипонги, Комаиси, Окуки, Ракуроми, Офир

Примечание

Магматиты:

1. Нижний полнодифференцированный ряд вулканитов: базальт-андезит-липаритовый ($B_1Б$; B_1C);

2. Средний неполнодифференцированный ряд (трахиандезит-базальтовый, трахиандезитовый ($B_2Б$), липарит-трахилипаритовый (B_2C).

Верхний контрастнодифференцированный ряд (базальт-липаритовый): базальтовый -($B_3Б$), липаритовый - (B_3C).

Подчеркнуты основные минералы.

2. Крупнейшие золоторудные месторождения мира

Среди десятков тысяч промышленных месторождений золота мира выделяется группа объектов — лидеров, чье экономическое значение в истории золотодобычи, особенно при исключении палеороссыпей Витватерсранда, непреходяще. Важно подчеркнуть, что эти месторождения обнаруживают одно сближающее их свойство — приуроченности к термостратированным структурам большой длительности функционирования и вертикальной протяженности. Несомненно, что не только вся группа, но и каждое из этих месторождений могло стать предметом монографического описания. Мы приводим их краткую характеристику, более подробно остановившись на месторождении Бестюбе, по которому располагаем детальными материалами коллег и личных исследований.

Месторождение Криппл Крик.

По данным В. Линдгрена, Ф.Л. Рэнсома, Т.С. Ловеринга, Е.Н. Годдарда, В. Эммонса, С.Д. Шера, Ж.Ж. Баше, А.Г. Кешмана, М.Г. Бергендела, Т.Б. Томпсона, Г.Ф. Лафлина, Е.М. Некрасова, В.Г. Хомича.

За период с 1891 по 1962 г. на месторождении добыто 653 т золота. Оруденение локализовано в кальдере миоценового возраста, залегающей на докембрийском фундаменте, сложенном гранитоидами и кристаллическими сланцами. Основание кальдеры разбито тектоническими нарушениями, разновысокие (вплоть до выходящих на современный срез) блоки фундамента образуют ступенчатые границы кальдеры в плане и разрезе. Северная часть кальдеры малопродуктивна и менее нарушена. Мощность вулканитов — первые сотни метров (до 400 м). Южная рудоносная часть кальдеры имеет мощность вулканитов 600-800 м. В основании вулканитов залегают терригенные породы местного сноса — конгломераты, песчаники, алевролиты. На них отложились вулканокласты фонолитового состава. Они насыщены дайками, субвулканическими телами латитов, сиенитов и базальтов, телами эксплозивных брекчий различного состава.

Распределение рудных зон и тел в южной полукальдере определяется системой зон рассланцевания, трещиноватости и разрывов северо-западного (раннего возраста), северо-восточного и меридионального направлений. Рудные зоны в западной части кальдеры связаны с зонами рассланцевания. Рудные тела кулисно протягиваются на 3 км, при этом главные жилы имеют протяженность до 1000 м и выполняют субмеридиональные сколы. В гранитоидах фундамента эти жилы имеют субширотное простирание.

В южной части кальдеры ярко выражены разрывы СЗ простирания, контролирующие рудные зоны длиной 2,5–3 км с рудными телами СЗ простирания и поперечными северо-восточными.

Рудные тела представлены тремя морфологическими типами: жилы выполнения, залежи вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд, брекчиевые трубы. Жилы выполнения имеют длину до 1 м (стволовые жилы) с разветвлениями и планпараллельными оперениями общей мощностью 5-15 м. При средней длине 200-400 м жилы протягиваются на глубину до 1 км. Они имеют важное промышленное значение. Залежи прожилково-вкрапленных руд имеют подчиненное значение и формировались в узлах пересечения и сочленения разрывов различного направления.

Брекчиевые трубы различных размеров играли важную роль в золотодобыче. Одно из таких образований — труба Крессона, была сложена базальтовой брекчией, имела сечение 100 x 200 м и отработана на глубину 600 м. Она располагалась на пересечении СВ и СЗ разрывов и была сложена минерализованными брекчиями, системой мелких беспорядочных тонких прожилков, гранитных жил с апофизами, телами вкрапленных руд.

Руды были сложены кварцем и халцедоном (до 60% объема), флюоритом (20%), доломитом и анкеритом (20%), адуляром, кальцитом, целестином. Рудные минералы составляли менее 1% и представлены пиритом, сфалеритом, тетраэдритом, антимонитом, гюбнеритом, молибденитом, киноварью, теллуридами золота и серебра (калаверит, сильванит, кроннерит, кетукит, гессит, телурид Au и Cu) и золотом. Для руд были характерны друзовые, крустификационные полосчатые текстуры, обусловленные чередованием жильных и рудных минералов — кварца, адуляра, флюорита, пирита. Содержания золота на верхних горизонтах в среднем составляло 30-50 г/т, на нижних 10-15 г/т. Очень характерны бонанцы и рудные столбы с содержаниями сотни-тысячи г/т золота.

Месторождение Бендиго (Австралия).

По данным Дж. Мак-Эндрю, Д.П. Стилвела, Д.Е. Томаса, Д.М. Чейса, Г.Е. Мак-Кинстри, В. Линдгрена.

Рудное поле залегает в ордовикской синклинорной системе ССЗ-ЮЮВ простирания. На площади 12 х 3 км установлено насыщение седловидными телами: 12-14 гребневидных антиклиналей средней шириной 150-200 м в толще Бендиго II-III и Бендиго -IV. Рудовмещающие породы — чередование песчаников (1,5-3 м) с углистыми сланцами или алевролитами (1-1,5 м). Седловидные тела залегают в сводах антиклиналей. Они имеют длину по своду от 70 до 2000 м, в среднем 600 м, ширина крыльев тел — 20-50 м, максимум 100-120 м (очень редко). Соотношение мощностей залежи в своде и на крыльях изменяется от 8:1 до 20:1. Залежи образуют многоэтажную структуру с шагом между ними 90-130 м, иногда 50-60 м, редко — 200-270 м. Между основными залежами отмечаются прожилковидные скопления. При максимальной глубине вскрытия 1400 м было выявлено 24 седловидных тела. Кроме седловидных жил установлены секущие апофизы вверх; секущие апофизы вниз в ядерную часть антиклиналей; апофизы по падению слоев; пучки жил и прожилков (спурр-массы) по дорудным секущим трещинам.

Рудные тела сложены несколькими генерациями кварца, анкеритом, серицитом, альбитом с вкрапленностью сульфидов (1-3%: пирит, арсенопирит, бурнонит, антимонит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит) и шеелита. Золото свободное, крупное (1 и более мм), распределено очень неравномерно. Средние содержания — 12-30 г/т.

Месторождение Хомстейк (США)

По данным А.Л. Слотера, Д.А. Нобла, Дж.О. Хардера, Дж. Баха, С.Д. Шера, Е.М. Некрасова.

С 1878 по 1986 г. добыто 1040 т золота.

Месторождение расположено в ядерной части структуры Блек-Хиллс, сложенной филлитами Пуэрмен, на которых с несогласием залегает позднепротерозойский разрез: свита Хомстейк (графит-куммингтонитовые сланцы, руды), свита Эллисон (филлиты и кварциты), свита Нортвестерн (кристаллические сланцы и филлиты), свита Флэгрон (кристаллические сланцы с прослоями железистых кварцитов), свита Гризли (массивные филлиты). Толща прорвана меридиональной серией штоков и даек риолитов, риолит-порфиров, монцонитов и эгириновых сиенитов. Мощность даек 1-3 м.

Рудные тела локализованы в горизонте тонкополосчатых куммингтонит-кварцевых и сидероплезит-хлорит-кварц-карбонатных сланцев мощностью 60-90 м. Толща сложно смята, вторичная сланцеватость создает своеобразную килевидно-фестончатую гофрировку, играющую важную роль в рудолокализации. Сильно сжатые антиклинали (Пирс, Индепенденс) и синклинали (Каледония, Де-Смет, Лид) контролируют залежи руд. Вкрапленность пирротина, пирита и арсенопирита, золота образует шесть крупных тел, состоящих из ряда залежей, четковидных и линзообразных скоплений (Каледония, Главное Южное, Северное, №5, №7, №9 и №11). Все они имеют ЮВ склонение (как и углы погружения сводов и килей складок). Это — трубы хлорит-

сульфидно-кварцевых руд большой протяженности — 2000-2400 м при сечениях 40 x 200 м (Главное Южное тело). Среднее содержание золота за период отработки 1957-1967 — 9 г/т, в настоящее время — 7 г/т. С дайками фельзитов связано перераспределение золотой минерализации, образование жил и прожилков кварц-пирит-кальцитового состава с гематитом, сфалеритом, галенитом, реальгаром, мышьяком, золотом, флюоритом, целестином, ангидритом, гипсом, опалом, родохрозитом.

Месторождение Хемло (Канада).

По данным Б. Фризена, В. Касинса, П. Кеннеди, П. Брауна, Р. Вилло, Д. Харриса, Д.Г. Шихена, Е.М. Некрасова.

Месторождение приурочено к южному крылу широкой синклинальной складки, выполненной терригенно-вулканогенными породами с абсолютным возрастом 2,6–2,8 млрд. лет. Разрез начинается основными вулканитами и т.н. нижними граувакками, на них налегают фельзитовая толща и верхние граувакки. В граувакках постоянны маломощные силлы фельзитов и порфиритов мощностью около 5 м. Все породы метаморфизованы: базальты — в хлоритовые и хлорит-амфиболовые сланцы, фельзиты — в кварц-мусковитовые сланцы, верхние граувакки содержат гранат, ставролит, кианит, биотит, хлорит. На СВ и ЮЗ породы прорваны массивами гранодиоритов. Рудные пластообразные залежи — "А, В", Лак Минералс, Голден Джиант, Восточная Тек Корона. Они залегают между кварц-серицитовыми сланцами и верхними граувакками. В фельзитах кроме того выявлены две зоны низкосортных руд — Западное тело и "С". Рудные тела склоняются к СЗ на 1100 м, имея по простиранию протяженность 100-800 м. Мощность варьирует от 3 до 45 м, в среднем 15-25 м. Рудные тела Лак Минералс залегают в кровле фельзитов и образуют ритмично построенные залежи (слойки кварца + мусковит + пирит — кварц + барит). В лежачем боку руды имеют состав: кварц, пирит, золото, молибденит, антимонит, арсенопирит, реальгар, аурипигмент. Золото свободное, размер зерен 20-100 μ, Au/Ag = 4 : 1.

Описаны следующие типы руд: кварц-молибденитовые (Au — 0-15 г/т, Mo — 0,1%), серицит пиритовые (Au — 5-6 г/т), баритовые с молибденитом (барита 20-25%, Mo — 0,1%, Au — сл.). Наиболее распространены кварцевые руды, в которых золото и молибден хорошо коррелированы.

Запасы составляли на 1.1.87 г. — 750 т с перспективой наращивания до 1000-1100 т.

Месторождение Колар.

По данным С. Нарайянасвами, Б.К. Драва Рао, Н.В. Суббараман, И.С. Рожкова, Ю.Г. Сафронова, Е.М. Некрасова, И. Свами Нас, М. Рамакришна, Б.П. Радхакришна.

Эксплуатировалось с древних времен (за тыс. лет до н.э.). С 1880 г по настоящее время шахтами добыто более 850 т до глубины 3350 м. Месторождение представлено 26 жилами, из которых жила Чемпион дала 75% добытого металла. Остальное золото добыто из жил Ориенталь, Манди, Западный и Восточный Мак-Тэггарт.

Главное рудоконтролирующее значение имеет разлом Майсур. Два других (Балагхат и Джиффордс) играют второстепенную роль. Вмещающие породы — рассланцеванные амфиболиты с пластами железистых кварцитов (группа Саргур), образуют глубокопроникающую синклинальную складку в гнейсах Пенинсула. Жила Чемпион имеет, в основном, согласное с первичной слоистостью падение. Рудные тела представлены чередованием четковидных жил мощностью 1-1,5 м с жильными зонами мощностью до 8 м. Очень характерны околожильные метасоматиты, возле кварцевых жил — диопсид-амфибол-эпидот-биотит-кварцевые, возле сульфидно-кварцевых жил — гранат-амфибол-кальцитовые. На протяжении 8 км жила Чемпион вмещает рудные столбы. На верхних горизонтах они более протяженные и прослеживаются непрерывно от 500 м до 2000 м, достигая в центральной части длины по склонению 3700 м. Столбы нижних (ниже 1600-1800 м) более короткие — первые сотни метров. Состав руд-

ных минералов — пирротин, пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит, изредка шеелит, магнетит. Их содержания колеблются от 1% до 10% — в центральной части жилы. Золото ассоциирует с теллуридами (гессит, алтаит, калаверит), высокопробное (900-950). Содержание его в рудах в период 1880-1960 гг. было 15-17 г/т, в настоящее время — 4-5 г/т..

Месторождение Калгурли (Австралия).

По данным С.Д. Голдинга, А.Ф. Вилсона, Е.Г. Никела, С.А. Томича, Дж.мл. Баха, Р.В. Бойля, Г.А. Трэвиса, Р.В. Вудолла, А.А. Уэллса, А.С. Ричи, Дж.Д. Кемпбелла.

За период с 1873 по 1987 г. добыто 1205 т золота.

Месторождение приурочено к отложениям базальтовой формации (базальты, туфы и др.), слагающей синклиналь Калгурли. Оруденение размещено в кварцевых долеритах стратифицированного силла Голден-Мейл (до 80%), базальтах Паринга и прослоях графитизированных сланцев и туффитов в кровле базальтов Паринга. Общая мощность рудовмещающего разреза более 1000 м. Он перекрыт вулканогенно-терригенными породами формации Блек-Флег (сланцы, песчаники, кварциты, лавы и пирокласты андезит-липаритовой формации). Минерализация представлена зонами сульфидной вкрапленности в тектонических нарушениях. Они образуют систему шириной 1000-2000 м и длиной более 4000 м вдоль разломов Голден-Мейл, Лайк-Вью, А.Е. Рудные тела относятся к четырем сериям: Главная (СЗ 315-330°, падение СВ 80-90°); Вторая (СЗ 300-305°, падение 65-75° ЮЗ); Каунти (В 90°, падение 55-70° Ю) и Секущая (СВ 40-60°). Представлено два типа рудных тел: вкрапленные (пирит -80%, теллуриды золота, серебра — 20%) и ленточные в горизонтах туффитов (пирит 90%, теллуриды — 10%). С глубины 1000 м интенсивность оруденения снижается, а ниже 1500 м оно практически исчезает. Средние содержания золота на верхних горизонтах 10-12 г/т, на нижних — 6-8 г/т.

Месторождения рудного поля Поркьюпайн — Холлинджер, Макинтайр, Кониорэм, Монета (Канада).

По данным Р.И. Бойля, Т.Дж. Смита, С.Е. Кеслера, В.О. Карвинсна, А. Файона, Дж.Т. Крокета, Дж.Ф. Дэвиса, А.Т. Гриффтса, Г.Д. Фарса, В.А. Джойнса, В. Эммонса, С.Д. Шера, Е.М. Некрасова, Д.Р. Пайка.

За период 1910-1991 добыто 1024 т золота.

Месторождения локализованы в толще пород последовательно дифференцированной андезит-коматиит-базальтовой формации верхней части разреза группы Киватин (ранний AR_2). Породы смяты в складки северо-восточного простирания с юго-восточным падением крыльев. Они пересечены рядом зон рассланцевания и гидротермально измененных пород. В пределах этих зон размещается цепочка штоков и дайкообразных тел субвулканических кварц-полевошпатовых порфиров. Оруденение в виде кулисно и последовательно расположенных рудных тел слагает мощную рудную зону шириной от 1200 м на юго-западе (Холлинджер) до 100 м на северо-востоке (Кониорэм). Число рудных тел в этом же направлении уменьшается от 20 до 2. Рудные тела трех типов. Первый — прожилково-жильные зоны сульфидно-кварцевого и сульфидно-анкерит-кварцевого состава со стержневыми массивными короткими жилами. Этот тип превалирует на нижних и средних горизонтах. На верхних горизонтах развиты рудные тела второго типа — метасоматические залежи вкрапленных руд. Мощность тел I и II типов колеблется от 1 до 15-25 м, составляя в среднем 1-5 м. Содержания золота от 15 г/т на верхних горизонтах до 9,7 г/т — на нижних. Третий тип рудных тел — массивные кварцевые жилы в штоках порфиров. С глубиной число жил в штоках возрастает. Наиболее насыщенными рудными телами являются интервалы между штоками Миллерто, Перл-Лейк, Нью-Носерн, Кониорэм. Оруденение прослежено в центральной части до глубины 2400 м, на ЮЗ до 800 м, на СВ — до 2000 м. Характерно появление “слепых” рудных тел до глубины 2000 м. Рудные тела сложены

кварцем, турмалином, анкеритом и сульфидами (до 4%), пиритом с подчиненным количеством пирротина, сфалерита, халькопирита, галенита, блеклых руд, арсенопирита, шеелита, молибденита и теллуридов (петцит, сильванит, гессит, тетрадемит). Золото свободное и в сульфидах, однако с глубины 2000 м преобладает свободное в кварце с пробой 850.

Представления о генезисе оруденения разнообразные — от ортомагматической гипотезы до сингенетично-эпигенетической. Несомненна важная роль вмещающих пород как источника частиц жильной и сульфидной минерализации при метаморфизме.

Месторождение Керкленд-Лейк (Онтарио, Канада).

По данным В. Эммонса, Р. Керрига, Дж.Р. Ватсона, А.М. Гудвина, В. Ворда, Е.М. Некрасова, К.Г. Бертони.

За период с 1912 по 1995 г добыто около 800 т золота.

Месторождение приурочено к дайкообразному телу щелочных габбро, залегающему в вулканогенно-терригенной толще (конгломераты, песчаники) с горизонтами андезито-базальтов докембрия (группа Тимискаминг, AR_2^2). Толща мощностью до 5 км смята в сложные сжатые складки субширотного простирания. Рудовмещающее дайкообразное тело имеет длину более 5 км, мощность от 400 м (верхние горизонты) до 800 м (нижние горизонты), субвертикальное падение и СВ простирание. На северо-восточном и юго-западном флангах дайкообразное тело веерообразно расщепляется на многочисленные апофизы мощностью от первых метров до 50-1000 м каждая и длиной до 1 км. Рудоконтролирующий разлом Керкленд-Лейк, вмещающий интрузив и золото-сульфидно-кварцевые жилы является оперяющим к разлому Кадиллак. Он играет важную роль в контроле оруденения региона и прослежен на 234 км вдоль южной границы архейского зеленосланцевого пояса Абитиби. Вдоль осевой части интрузива протягивается зона дробления мощностью 1-20 м. В центральной части она содержит крупную золоторудную жилу длиной до 2200 м на нижних горизонтах. К северо-востоку до выклинивания рудовмещающими являются поперечные пологие нарушения, оперяющие упомянутую выше зону. В продольной проекции на вертикальную плоскость отчетливо устанавливается склонение рудных тел к юго-западу, где достигнута максимальная глубина отработки 2500 м при 800 м — на северо-востоке.

Мощность рудных тел достигает 30 м и слагается из стержневой жилы с сопровождающими ее прожилково-вкрапленной и штокверковой минерализацией. Жильные минералы представлены кварцем, кальцитом, доломитом, альбитом, ортоклазом, баритом, турмалином. Рудные минералы составляют 2-3% массы руды и представлены, в основном, пиритом, а также халькопиритом, галенитом, сфалеритом, теллуридами (калаверит, петцит, алтаит, колорадоит, мелонит), молибденитом, графитом, гематитом. Основная часть золота — свободная. Проба его — 940, Au/Ag = 5 : 1. Средние содержания составляли в центральной части 15-17 г/т, северо-восточной — 10-12 г/т, юго-западной — 12-16 г/т. Для месторождения характерен большой вертикальный размах, постоянство средних содержаний на весь изученный интервал глубин, отсутствие выраженной минеральной зональности. Другим характерным свойством является геохимическая адекватность минерализации оруденения и вмещающих пород, отражение в составе карбонатов и сложных вторичных силикатов состава вмещающих пород. Привнесенными являются кремнезем, золото, ртуть. Процесс минералообразования протекал в стандартных температурных условиях от 380-400° до 210-260°.

Группа месторождений, залегающих в терригенных и вулканогенно-терригенных углеродистых комплексах в связи со штоками и мелкими телами пестрого состава

Преимущественно жильные месторождения, связанные с комплексом малых интрузий (по М.Б. Бородаевской), постбатолитовыми штоками и малыми телами пестрого, преимущественно диоритового состава (по Ю.А. Билибину, Н.А. Фогельман, В.С. Коптеву-Дворникову).

В связи с высокой рудонасыщенностью и общим высоким уровнем геологического изучения интрузивы степнякского комплекса Северного Казахстана можно принять за прототип. Их изучением занимались такие крупные геологи-рудники и петрологи как Ю.А. Билибин, В.С. Коптев-Дворников, Н.А. Фогельман, Э.М. Спиридонов, В.И. Данилов, Г.Н. Шавкин, М.А. Абдулкабирова, В.К. Монич, плеяда геологов разведочных и эксплуатационных организаций Мингео Казахстана и Каззолото. Итоговой работой, обобщающей огромный материал по геологии, петрологии, рудоносности является исследование Э.М. Спиридонова [1991].

Пространственно и генетически степнякиты связаны с магматическими образованиями крыккудукского инверсионного комплекса. Эти магматические образования соскладчатого, коллизионного времени различными исследователями относятся к т.н. батолитам пестрого состава, габбро-диорит-гранодиоритовой серии. Магмы, формировавшие интрузивы, классифицировались и как базальтоидные, и как андезитоидные, и как гибридные образования. Большая часть крупных массивов залегает в сводах антиклинориев. Состав массивов отличается пестротой и различными соотношениями широкого набора пород. Размеры массивов колеблются от сотен $м^2$ до сотен $км^2$ при мощности от 0,5 до 8 км.

Интрузивные образования главной интрузивной фазы I имеют характерный текстурно-минералогический облик — параллельно-линейную ориентировку андезина и роговой обманки, полосчатость, такситовость. Массивы построены зонально — от кварцевых габбро-диоритов и кварцсодержащих диоритов эндоконтакта через кварцевые диориты, тоналиты до лейкотоналитов, плагиогранитов центра. Характерна эволюция состава темноцветных от Ti-магнезиоферригастингсита через низкощелочной магнезиоферригастингсит до ферригастингсита с ядрами авгита и Fe-гиперстена и включениями титаномагнетита, ильменита. Эти продукты ранней кристаллизации имеют параметры Т=960-720°С, Р = 6,1-2,8 кбар, $\log fO_2$ = -12–17,5. Минералы поздней кристаллизации — андезин-олигоклаз, низкощелочной эденит, олигоклаз, гидроксилбиотит, титаномагнетит, ильменит, апатит, кварц, сфен, сформировались при Т=750-610°С, Р=3,7-0,8 кбар, $\log fO_2$ = -18–19,5.

Интрузивные образования II фазы также имеют линейную ориентировку зерен плагиоклаза и роговой обманки, пятнистую, порфировидную текстуру, особенно в эндоконтактах. Параметры кристаллизации минералов ранней и поздней стадий близки таковым интрузивных пород I фазы. Отличием является еще более высокая фугитивность кислорода.

Степнякиты распространены в тех же структурах, что и крыккудукские интрузивы. Они имеют сечение штоков чаще всего менее 0,5 $км^2$. Строение их трехфазное: I фаза — габброиды, II фаза — диориты, тоналиты, III фаза — гранодиориты. При этом II и III фазы степнякитов соответствуют I и II фазам крыккудукских интрузивов.

Детальное изучение конкретных массивов степнякитов — Бестюбе, Степняк, Жолымбет, Аксу на глубоко вскрытых (до 1-1,5 км) эксплуатируемых месторождениях показывают исключительную специфичность их строения, состава, текстурно-структурных особенностей, фазо-фациальных отношений. По всем этим, а также рудно-геохимическим признакам для степнякитов характерны ликвационные процессы. При этом важно отметить, что эффекты ликвационного распада проявлялись, как правило, на месте становления и кристаллизации расплавов. По комплексу признаков

выделяются различные фации глубинности степнякитов — от резкогипабиссальной до мезоабиссальной (табл. 26).

Таблица 26

Состав и свойства минералов степнякитов различной глубинности [Спиридонов, 1991]

Фации глубинности		1 - 1,5 км	1,5 - 3 км	3 -5 км
Интрузивы		Бестюбе, Буденновский, Караагач, Байкал	Степняк, Лидовский, Талочай, Степановский	Жолымбет, Аксу
Плагиоклаз	состав	$Ca_{50,7}Na_{47,9}K_{1,4}$	$Ca_{50,8}Na_{48,1}K_{1,1}$	$Ca_{58,2}Na_{41,1}K_{0,4}$
	Δо	0,4	0,8	0,9
	Δр	0,45	0,7	0,8
KNa пол. шпат	Δо	0,35	0,45	0,80
	Δр	0,25	0,35	0,55
Титаномагнетит	СР	0,59(0,33-0,81)	0,92(0,88-0,96)	0,98(0,97-0,99)
	Fe_2TiO, %	33,3	33,2	29,1
Пироксен ромбический	ранний	$Ca_{3,1}Mg_{67,3}Fe_{29,6}$	$Ca_{3,4}Mg_{66,6}Fe_{30,0}$	$Ca_{3,7}Mg_{68,0}Fe_{28,3}$
	поздний	$Ca_{3,9}Mg_{50,9}Fe_{45,2}$	-	-
Авгит	ранний	$Ca_{42,0}Mg_{41,5}Fe_{16,5}$	$Ca_{43,7}Mg_{38,7}Fe_{30,}$	$Ca_{42,2}Mg_{41,5}Fe_{16,3}$
	поздний	$Ca_{43,4}Mg_{35,9}Fe_{21,1}$	-	-
Роговая обманка	f	47,5	44,2	35,8
	Fe^3/Fe,%	31	32	37
Биотит	f	54,6	52,9	46,0
	Fe^3/Fe,%	9	22	31
	F,%	0,33	0,12	0,07
Апатит	Cl,%	0,13	0,31	0,76
Ильменит	Fe_2O_3,%	5,6	10,1	16,0

Примечания. Δ - степень упорядоченности: Δо - оптическая, Δр - рентгеновская;
СР - степень распада (1 - Fe_2TiO_4 в матрице магнетита) / Fe_2TiO_4 в титаномагнетите
f - железистость

Ряд петро- и геохимических особенностей, таких как содержания макрокомпонентов: хрома, никеля, кобальта, тантала, лития, тория отражают петрографический состав пород фаз и фаций. Вместе с тем, содержания серы, золота существенно связаны с металлогенической специализацией степнякитов.

Проблема золотой геохимической специализации степнякитов до сих пор остается открытой для обсуждения. Высокие содержания золота в основных породах связываются с первичной обогащенностью золотом субстрата области магмообоазования. Высокие (до 3 г/т) содержания золота в гиперстене, авгите и титаномагнетите Э.М. Спиридоновым объясняются наличием эмульсионных выделений халькопирита. Содержания золота в породах штоков, к которым пространственно тяготеют месторождения, существенно не отличаются от содержаний в породах штоков, не сопровождаемых оруденением. По дисперсии же средних содержаний они разительно различны: в сопровождаемых оруденением штоках дисперсия на 1-2 порядка выше. Отмечается четкая обратная корреляция размеров штоков (в поперечном сечении) и масштаба оруденения. Большая вертикальная протяженность оруденения — весьма характерная черта месторождений, связаннных со степнякитами (Бестюбе — 2,2-2,5 км, Жолымбет — 1,8-2,2 км, Аксу — 1,5-1,6км).

Минеральные типы (по составу продуктивных ассоциаций) месторождений образуют зональный ряд по глубинности: гипабиссальная (1-2 км) — Au-Ant[1] и Au-Ant-AgSS; гипабиссальная (2-3 км) — Au-Gal-Sylant; мезоабиссальная (3-5 км) -Au-Gal и Au-Gal-Sylant с Tel; абиссальная (5-7 км) — Au-Tel и Au-Gal-Tel. Состав ранних ассоциаций имеет прямую связь с составом вмещающих пород: в рудах среди пород основного состава развиты сульфиды железа и меди, карбонаты, хлориты, герсдорфит и другие минералы никеля. Минеральные ассоциации месторождений на примере детально исследованного месторождения Бестюбе приведены в табл. 27.

Таблица 27

Минеральные ассоциации месторождения Бестюбе

Ассоциация	Минералы		
	нерудные метасоматитов и жил		рудные
скарнов и скарноидов	андрадит-гроссуляр, андрадит, диопсид, салит, Ti-андрадит, кальцит		пирит
послескарновых кварц-пирротиновых жил	кварц, гидроксилмусковит, хлориты (рипидолит, корундофиллит, афросидерит, псевдотюрингит), доломит, ферродоломит, кальцит, рутил, апатит, рутил -V, рутил -W		пирротин мон., халькопирит, пирит, шеелит, молибдошеелит, сфалерит, арсенопирит, кобальтин - NiFe, кобальтлиннеит, галенит, висмутин, висмутин-Pb, висмут, тетрадимит, тетрадимит-Pb, Bi_2Te, тетраэдрит, любеллит, козалит, густавит
березитов и кварц-молибденистовых руд	кварц, серицит-мусковит, анкерит, хлорит, рутил		молибденит, пирит, арсенопирит
золоторудных жил и метасоматитов (березит - лиственитов)	ранняя	кварц, гидроксилмусковит, фенгит, серицит-иллит, ферродоломит, альбит, хлориты (рипидолит, пикнохлорит), анатаз, рутил, битумоиды, ильменит	шеелит, пирит
	кварц-анкерит-арсенопиритовая	кварц, доломит, анкерит, серицит-мусковит	арсенопирит, As-пирит
	полиметаллическая	кальцит, альбит, серицит	халькопирит, сфалерит, бурнонит, галенит, теннантит, тетраэдрит, буланжерит, буланжерит-Bi, джемсонит
	продуктивная		золото, галенит, тетраэдрит
	поздняя полиметаллическая (антимонитовая)	кварц, доломит, кальцит	антимонит, сурьма, пирротин мон., макинавит, пирротин промежут., гудмундит, точилинит, тетраэдрит, халькостибит, ауростибит, тетраэдрит-Ag, миаргирит
		кальцит, хлорит	антимонит, бертьерит, халькопирит, сфалерит, золото
кальцитовых жил	кальцит, кварц, целестин		пирротин промежуточный, клейофан, пирит

По данным многочисленных измерений формирование месторождений происходило при температурах от 300-310°С (золото-антимонитовый тип) до 310-330°С (золото-теллуридный тип). Продуктивные ассоциации формировались при 160-220°С

[1] Ant - антимонит, AgSS - сульфосоли серебра, Gal - галенит, Sylant - сульфоантимониды, Tel - теллуриды.

(среднее 180-200°С). Градиенты температур составляли 3-5°/100 м (редко до 10°/100 м), давления от 0,3-0,9 кбар для Au-Ant, 1-1,8 кбар для Au-Gal, до 2-3,5 кбар для Au-Te при градиентах 1 кбар/км. Рудоносные растворы — обычно $NaCl$ — KCl — $MgCl_2$ состава умеренной солености, $C_{экв.NaCl}$ = 11-15 мас.% при разбросе от 9 до 17 мас.%. Содержания CO_2 изменялись от 2-2,5 до 4 моль/кг растворов, в осадочных породах к ней добавляется метан. В минералах продуктивной стадии соленость понижена и составляет 2-11 мас.%, чаще 4-9 мас.%, при этом жидкая углекислота отсутствует.

Богатые руды в рудных столбах других жил характеризуются целым рядом особых признаков. Прежде всего, широко развиты структуры брекчиевого этапа внутрирудного дробления. Кварц и карбонат содержат повышенные количества рассеянного органического вещества, графита, метана, водорода. Выделения свободного золота существенно более крупные (на порядок) по сравнению с рядовыми рудами. Характерны самородки и кусты пространственно связанных выделений большого веса. Например, на Степняке отработаны гнездовидные скопления золота весом до 70 кг при объеме менее 0,5 $м^3$; на Бестюбе задокументированы ленты и полосы золота длиной 1-1,2 м при мощности до 1 см и ширине 20-30 см.

Богатые руды выделяются особенностями соотношений золота, серебра и ртути (табл. 28)

Таблица 28

Отношения золота, серебра и ртути в рудах

№№ п/п	Отношение	Руды		
		рядовые	богатые	
			в целом	верхние части тел
1	золото : серебро	0,8	0,5	0,2
2	золото : ртуть	1,5	0,7	0,5

В объеме месторождения самые богатые руды концентрируются в верхней трети жил, особенно в пологих мелких телах.

Заканчивая краткое описание крупнейших месторождений, следует подчеркнуть их приуроченность к термостатированным структурам [Летников и Нарсеев, 1971]; многостадийность формирования при совмещении на одном объекте многих структурно-морфологических типов руд; связь состава жильного выполнения и части рудной минерализации с сотавом вмещающих пород; слабо проявленную эндогенную зональность.

3. Условия образования золоторудных месторождений

Общие положения

Под условиями образования понимается сочетание состояний среды рудоотложения, структуры рудолокализации и рудоносного флюида.

В таблицах 29-32 схематически отображены основные взгляды автора на указанные компоненты условий образования.

Таблица 29

Физико-химическое состояние среды рудоотложения

№№ п/п	Характеристики среды	Основные процессы	Результаты влияния на рудоотложение
1	благоприятные по физическим свойствам - хрупкие трещиноватые - пористые проницаемые	- адиабатическое расширение - одновременное заполнение каркаса трещин - фильтрационные эффекты - формирование дифференцированных колонн	- образование объемных штокверков, - план-параллельные и сложные системы жил - образование сложных систем прожилково-вкрапленных руд - образование тел вкрапленных руд
2	по способности к химическому взаимодействию - химически реакционно-способные - сорбционно-активные	- химическое осаждение - осаждение на барьерах	- образование контрастных залежей массивных руд - стратиформные образования прожилково-вкрапленных руд

Таблица 30

Температурные поля среды рудоотложения

Т - поля		Особенности оруденения		
Направленность развития	Градиенты температур	Минеральные ассоциации	Вертикальный размах оруденения	Зональность оруденения
Затухающие	низкоградиентные за счет термостатирования нормальноградиентные высокоградиентные	 трехстадийные полистадийные	до нескольких км до 1 км первые сотни метров	слабовыраженная отложения, нормальная стадиальная, отложения внутри стадии телескопированная прямая, контрастная стадиальная
Нарастающие	низкоградиентные нормальноградиентные высокоградиентные		сотни метров	обратная слабо контрастная, обратная нормальная, обратная телескопированная
Пульсирующие	низкоинверсионные высокоинверсионные	с выраженными стадиями телескопирование	сотни метров	нормальная стадиальная и отложения, телескопированная стадиальная

Таблица 31

Структуры рудолокализации золоторудных месторождений

№№ п/п	Структурные обстановки и их сочетания	Генетический тип рудолокализирующих структур	Протяжен ность оруденения на глубину	Промышленное значение	Примеры
1	<u>Разрывные системы</u> Линейные разломы и узлы сочленения, разветвления, оперения, пересечения однопорядковых разломов и трещин различного порядка	Классические системы оперения сколовых и отрывных трещин Системы план-параллельных нарушений и оперений Зоны дробления и смятия в теле разлома	от 250-300 до 1000-1500 м до 1500-2000 м до 2000-3000 м от 150-250 до 1000-1500 м	важное важное важное	Бестюбе, Нежданинское Березовское Джетыгара, Кировское
	Объемные и лестничные трещинные системы интрузивов и даек	Эндокинетическая трещиноватость интрузивных тел		важное	Грасс Валли, Березовское
2	<u>Складчатые системы</u> - различной морфологии складки со стратиформным оруденением	первично сложные структуры осадконакопления	1000 - 1500 м	важное	Гимпи, Кокпатас
3	- области складок нагнетания, дисгармоничных и приразломных складок	зоны объемной трещиноватости, кливажа, послойного смятия, седловидных отслоений в замках складок, брекчирования и будинажа некомпетентных слоев	до 1500 - 2000 м		Бакырчик, Калгурли
4	- области поздней наложенной поперечной, секущей, эшелонированной вторичной складчатости	полости отчленения коробчатых и ундулирующих складок, зоны слоевого, осевой плоскости кливажа, сколовой трещиноватости и смятия	до 2000 - 3000 м	важное	
5	<u>Вулканоструктуры:</u> Вулкано-тектонические депрессии и кальдеры	системы радиальных, кольцевых конических разломов, брекчиевые трубы, стратиформные залежи	до 1000 м	важное	Криппл Крик,
6	грабены с терригенным выполнением	системы крутых сколовых трещин, пологих зон трещиноватости	до 1000 м	важное	Балей
7	вулкано-купола с жерловой фацией	сколовые, радиальные и план-параллельные трещины, брекчиевые трубы, пластовые зоны	до 200 м	-	Байя Маре, Рошия Монтана
8	вулкано-купола с субвулканической фацией	сколовые линейные зоны, зоны объемной трещиноватости	от 100-200 до 600-800 м	-	Тавуа
9	вулкано-купола с дайками	сколовые радиальные и план-параллельные трещины	до 1000 м	-	Агинское
10	<u>Интрузивно-метаморфические купола</u> вулкано-плутонические гнейсовые купола и сопряженные впадины	системы радиальных и концентрических трещин, купольные структуры высоких порядков	до 1000 - 1500 м	возможно важное	Хомстейк
	штоки, дайкообразные интрузивы	системы продольных оперяющих, лестничных трещин	более 2500 м	важное	Поркью-пайн

Таблица 31 (продолжение)

№№ п/п	Структурные обстановки и их сочетания	Генетический тип рудолокализующих структур	Протяженность оруденения на глубину	Промышленное значение	Примеры
11	<u>Блоковые системы</u> - блоки консолидированного основания, выходящие на поверхность, ограниченные раломами и линейной, дисгармоничной приразломной складчатостью Разломы типа:	•			
	1. прямого надвига	трещины отрыва и скола в аллохтоне, зоны смятия в теле надвига и аллохтоне (пологие)	до 1000 - 1500 м	неясное	Комсток
	2. обратного надвига	трещины отрыва в автохтоне, зоны брекчирования и смятия в теле надвига и в автохтоне	до 600 - 800 м	неясное	Эль Кальяо
	3. сброса	трещины оперения и отслоения висячего бока, смятия в теле сброса	до 600 - 800 м	важное	Тамес
	4. взброса	трещины скола и отрыва, зоны отслоения и смятия висячего бока, брекчирование в теле взброса	до 600 - 800 м	неясное	Суздаль
	5. раздвига с терригенным прогибом	зоны и трубки брекчий обрушения в бортах раздвига, многоярусные отслоения	до 2000 - 3000 м	неясное	Балей
	6. раздвига с вулканогенным прогибом	крупные прибортовые разломы, зоны объемной трещиноватости в вулканических телах, лестничные трещины в покровах, многоярусные зоны трещиноватости и брекчирования	до 1000 м	важное	Эль Оро
12	- скрытые блоки консолидированного основания = венцовые структуры				
	1. сундучные складки различной конфигурации	штамповые структуры	до 1000 м	среднее	Бриндакит
	2. зоны приразломной складчатости	сколовые системы трещиноватости и смятия по границам блоков и на их продолжении по восстанию	до 600 - 800 м	среднее	Юр
	3. зоны повышенной трещиноватости		до 300 м	неясно	Тас Юрях
13	Комбинированные структуры 1 - 2, 3, 4 1 - 5 1 - 10 1 - 12. 2, 3		до 3000 м	очень важное	Мурунтау, Майское

Таблица 32

Основные состояния рудного флюида

№№ п/п	Уровни формирования руд	Характеристика флюида					
		температура	давление	газонасыщенность	способность к вскипанию	плотность	химическая равновесность
1	близповерхностные (до 1 км)	60-80°-400°C	от низкого до ультравысокого	высокая	очень высокая	от низкой до высокой	очень неравновесный
2	средних глубин (1 - 3 км)	120°-420 °C	среднее до высокого	от средней до высокой	низкая до высокой	средняя	различный
3	глубинные (более 3 км)	140°-500 °C	высокое	низкая	низкая	высокая	субравновесный

Термобарогеохимические условия формирования золоторудных месторождений

Развитие термобарометрических исследований показало, что предложенное в свое время В. Линдгреном разделение золоторудных месторождений на ката-, мезо- и эпитермальные больше отражает глубинность, нежели температуру их образования. Более того, Л.Н. Овчинниковым [1967] было показано, что гидротермальные месторождения, особенно их продуктивные стадии, формируются в довольно узком интервале температур. Общий регрессивно-инверсионный характер изменения термобарического режима гидротермальных процессов устанавливается для золоторудных месторождений разных глубин (табл. 33). Их многостадийная природа подтверждается данными о закономерно скачкообразном изменении во времени температуры, давления, агрегатного состояния и состава растворов. В рамках собственно золоторудных процессов в общем случае выделяется 3 стадии — допродуктивного, продуктивного и послепродуктивного минералообразования; в провинциях сложного металлогенического профиля (Забайкалье, Урал и др.) нередко имели место и более ранние стадии редкометальной, боросиликатной минерализации. Для малоглубинных и приповерхностных месторождений характерно разнообразие числа послепродуктивных стадий.

Черты регрессивно направленной смены термобарических показателей проявлены в подавляющем большинстве месторождений независимо от глубины их формирования, минерального типа и размещения в разных структурно-металлогенических зонах. Однако, особенности таких изменений, их диапазон, интенсивность, ритмичность и величина инверсии оказались однотипными лишь для месторождений, близких по глубине образования (табл. 33). Это положение согласуется с данными по месторождениям многих провинций мира.

Таблица 33

Термобарогеохимические признаки различия глубинности золоторудных полей

Главные типоморфные признаки	Значение признака	Относительные глубины формирования		
		глубинные	среднеглубинные	малоглубинные
А. Микроскопические				
I. Типы и морфогенетические особенности многофазовых включений в минералах.				
- Семейство газово-жидких включений с кристаллами растворимых солей	Весьма важное	ТИПИЧНЫ для минералов допродуктивных ассоциаций	Встречаются в минералах допродуктивных ассоциаций, развитых вблизи родственных интрузивов и рудоподводящих каналов	Не встречаются
- Семейство включений с жидкой CO_2, устойчивой в комнатных условиях	Весьма важное	ВЕСЬМА ТИПИЧНЫ для минералов продуктивных ассоциаций	Типичны только для минералов продуктивных ассоциаций	Не встречаются
- Семейство существенно газовых включений с одинаковым наполнителем	Весьма важное	Встречаются в самых ранних зарождениях минералов продуктивных ассоциаций	Весьма типичны для минералов продуктивных ассоциаций	Не встречаются
- Семейство включений, раздавленных или видоизмененных при динамометаморфизме руд	Второстепенное	Характерны	Встречаются	Не встречаются
- Семейство включений, взорванных при локальном перегреве минеральных агрегатов	Второстепенное	Встречаются	Встречаются	Не встречаются
- Первичные включения в минералах	Вспомогательное	Не сохранились	Встречаются	Весьма характерны для минералов шестоватых и гребенчатых агрегатов
- Разнообразие проявленных способов образования первичных включений	Вспомогательное	Не существенное	Не существенное	Весьма широкое, характерно капсюлирование растворов в зонах скелетного роста кристаллов
- Вариации морфометрических параметров включений	Вспомогательное	Незначительные	Умеренные	Значительные
Б. Аналитико-метрические				
II. Термобарогеохимические показатели и пределы их вариаций				
- Общий диапазон давлений (МПа)	Весьма важное	260 - 40	120 - 20	20 - 2, чаще 3 - 2
		(в продуктивный период 90 - 50)		
- Общий диапазон температуры (°C)	Второстепенное	500 - 50°	500 - 50°	370 - 50°
		(в продуктивный период 340 - 170°)		
- Температурный интервал (°C) допродуктивного минералообразования	Второстепенное	500 - 310°	500 - 260°	370 - 245°
- Температурный интервал (°C) послепродуктивного минералообразования	Второстепенное	Ограниченный (160 - 50°)	Расширенный (230 - 50°)	Широкий (310 - 50°)

Таблица 33 (продолжение)

Главные типоморфные признаки	Значение признака	Относительные глубины формирования		
		глубинные	среднеглубинные	малоглубинные
- Гомогенизация включений с критическими явлениями и в газовую фазу	Весьма важное	Типична	Весьма типична	Не отмечается, тогда как газовая гомогенизация наблюдается совместно с жидкой и при одной температуре (кипение)
- Суммарная концентрация солей в капсюлированных растворах (вес.% эквивалентно NaCl)	Весьма важное	до 50-60%	до 30-40%	Ниже 7-9%
- Среднее соотношение ионных солей натрия и калия (Na/K) в водных вытяжках	Весьма важное	6,9	5,0	1,0
- Содержание CO_2 в капсюлированных растворах продуктивной стадии	Важное	Весьма значительное	Значительное	Очень низкое
- Объемная доля O_2 в составе газовых вытяжек (объем, %)	Важное	Отсутствует	Отсутствует	Достигает 5-10%
- Устойчивость всех термобарогеохимических показателей	Вспомогательное	Существенная	Умеренная	Незначительная
III. Особенности закономерного изменения термобарогеохимических показателей во времени.				
- Характер смены температурного режима вследствие инверсий	Важное	НЕ ЯРКО ВЫРАЖЕННЫЕ инверсии, закономерно сокращавшиеся к концу процесса	РЕЗКИЕ инверсии, сменяющиеся в послепродуктивный период перепадами	ОСОБЕННО РЕЗКИЕ инверсии, нередко усиливающиеся в послепродукти-вный период
- Интенсивность температурных инверсий (°С)	Важное	Незначительная (5 - 20°)	Существенная (50 - 80° до 130°)	Весьма существенные (до 110 - 150°)
- Проявление общей тенденции к снижению активности сильных кислот и оснований при дискретном возрастании роли слабых (по данным водных вытяжек из минералов последовательных стадий)	Важное	ОТЧЕТЛИВОЕ, особенно в послепродуктивный период процесса	КОНТРАСТНОЕ на всех стадиях минерализации	ЗАВУАЛИРОВАНО процессами телескопирования и влияния вадозных вод
IV. Особенности изменения термобарогеохимических показателей в пространстве				
- Температурный градиент по вертикали (°С на 100 м)	Весьма важное	8 - 10°	12 - 16°	25 - 30°
- Диапазон вариаций температурного градиента по вертикали (°С на 100 м)	Важное	7 - 15°	от 1 - 10 до 20°	от 6 - 10 до 50 - 70°

Специфичны показатели динамики изменения термобарического режима: медленные темпы таких изменений в глубинных зонах оруденения фиксируются по обилию в минералах высокоплотных включений преимущественно гомогенных гидротерм, тогда как признаки их гетерогенизации типичны для средне- и особенно малоглубинных руд. Смена рудных стадий сопровождалась скачкообразными инверсиями температуры (10-100 °С) и давления (1-10 Мпа), закономерно затухавшими к концу процесса с глубиной. В частности температурные скачки в начальные стадии варьиро-

вали от 5-20 °С (глубинные зоны) до 100-150 °С (малоглубинные зоны). Для завершающих стадий отмечаются спады температур (на 30-70 °С), особенно в среднеглубинных условиях, а в малоглубинных — локальные усиления инверсии. Внутристадийное минералообразование осуществляется на фоне менее значительных, но частых термобарических флуктуаций (2-10 °С, 1-% Мпа), которые, сопровождаясь локальной гетерогенизацией гидротерм, стимулировали процессы кристаллизации, особенно в приповерхностных зонах, где она имела массовый, обвальный характер с появлением коллоидных фаз. Степень дегазации растворов (главным образом за счет CO_2) увеличивалась по мере восхождения к поверхности, о чем свидетельствуют широкое распространение углекислотно-водных включений в минералах глубинных руд и отсутствие их в приповерхностных; для последних вместе с тем характерно повышение объемной доли O_2 (5-10%).

Основная тенденция геохимической эволюции Среды рудообразования выражается в закономерном снижении роли сильных кислот (главным образом Cl^-) и оснований (Na^+, K^+) при увеличении значимости слабых (HCO_3^-, Ca^{2+}, Mg^{2+} и др.); дискретность таких изменений проявилась в относительно термостатированных условиях глубинных и среднеглубинных зон, в малоглубинных она завуалирована влиянием метеорных вод. На ранних стадиях золоторудных процессов существенную роль играли Cl-Na(K) — растворы; в глубинных и среднеглубинных зонах, как правило, высококонцентрированные (55-30% — экв. NaCl). В следующие стадии (на всех глубинах) действовали хлоридно-гидрокарбонатные Na-K-Mo-Ca — растворы с массовым содержанием солей не более 4-9%; величина и устойчивость отношения Na/K наиболее значительны в растворах глубинных (до 10) и среднеглубинных (в среднем 7-5) руд и меньше в малоглубинных (в среднем 2-1,3). В рамках развития конкретных стадий минералообразования концентрация солей и кислотность растворов закономерно снижались в соответствии с общей дискретностью процесса. Роль фактора глубинности наиболее значительна в ранние периоды рудообразования, когда различия теплового режима на разных уровнях были особенно контрастными: 550-260°С на глубинах более 1-1,2 км и 370–245°С в приповерхностных зонах. В последующие стадии, включая продуктивные, вариации режима были несущественными (табл. 34), что явилось одной из причин сходства возникавших минеральных комплексов, в том числе — золотоносных.

Таблица 34

Температурная (°С) характеристика минеральных ассоциаций месторождений разноглубинных зон [Ляхов, 1968]

Главные типы минеральных ассоциаций	Глубинные, малосульфидные	Среднеглубинные, умеренносульфидные	Малоглубинные, убогосульфидные
Молибденит-кварцевый, собственно кварцевый	>500-450	>450-280	
Турмалин-кварцевый	>500-390	>500-280	
Пирит (пирротин)-кварцевый	>460-340	>460-320	
Пирит-арсенопирит-кварцевый (с анкеритом)	390-310	385-260	370-245
Золото-галенит-сфалеритовый	330-240	310-210	320-180
Золото-халькопирит-блеклорудный	280-180	280-180	260-195
Золото-сульфоантимонитовый (с карбонатами)	250-170	250-170	
Золото-адуляр-кварцевый			290-180
Золото-аргентит-кварцевый			340-290
Кварц-карбонатный:	160-50	230-50	310-50
- с флюоритом		200-130	
- с марказитом, пиритом, арсенопиритом			190-150
- с антимонитом			165-125
- с гипсом			165-90
- с баритом, халцедоном, каолинитом			120-50

Условия развития собственно золотой минерализации, как следует из всего объема термобарогеохимической информации, были весьма специфическими и вместе с тем достаточно однотипными для месторождений разных глубинных уровней. Главные парагенезисы золота формировались в температурном интервале 270-190°С. При развитии продуктивных стадий давление изменялось в пределах 95-55 Мпа на средних и относительно больших глубинах и 9-3 Мпа — на малых. Растворам были свойственны гетерогенное состояние и многокомпонентный, преимущественно хлоридно-гидрокарбонатный состав (концентрации солей 1-9% — экв. NaCl) при повышенной роли щелочей и CO_2. Вскипание и дегазация гидротерм, как следствие быстрого падения давления, являлись важными факторами концентрации золота (табл. 35).

Таблица 35

Термобарогеохимические признаки золотого оруденения [Ляхов, 1968]

Признаки		Группы месторождений		
		относительно больших глубин	средних глубин	малых глубин
	Средние термобарические показатели рудного процесса (Т-температура, °С; Р-давление, МПа)	Главная продуктивная стадия Т 290-190 Р 95-80 Оптимальные условия оруденения Т 270-210 Р 90-80	Т 280-190 Р 95-50 Т 260-200 Р 80-60	Т 280-180 Р 18-2 Т 250-190 Р 7-2
	Характерные черты химического состава и состояния металлоносных растворов	Значительное насыщение CO_2 при повышенной роли Na^+ и Cl^-, вскипание	Насыщены CO_2 при сравнительно повышенной активности Na^+ Cl^-, вскипание	Низкое газонасыщение с преобладанием CO^2 и относительно повышенная роль Na^+ и Cl^-, интенсивное вскипание
	Величина внутристадийных термобарических флуктуаций	Менее существенны, чем в зонах средних и малых глубин	до 5-15 °С и 1-10 МПа	до 2-10 °С и 0,5 Мпа
Благоприятные	Распространение минеральных агрегатов с сингенетическими включениями растворов продуктивных стадий	Трехфазовые водно-углекислотные включения с существенными вариациями наполнения в пределах их семейств	Трехфазовые углекислотно-водные, реже двухфазовые включения неустойчивого наполнения	Двухфазовые включения слабоконцентрированных водных растворов с небольшим количеством растворенных газов; характерно изменение наполнения в пределах конкретных семейств и на границах минеральных зон
	Объем газовой фазы в сингенетических включениях при 20-25 °С, об.%	Около 18-22%, в участках вскипания растворов 18-93%		15-22%, в участках вскипания растворов 15-95%
	Наличие и объем фазы жидкой CO^2 в сингенетических включениях при 20-15 °С	Весьма характерна, местами выявляется при некотором охлаждении препаратов; занимаемый объем варьирует от 10 до 100 об.%		Не обнаруживается даже при охлаждении препаратов
	Наличие в сингенетических включениях легко растворимых твердых фаз (минералов-"узников")	Встречаются крайне редко		Не встречаются
	Типы гомогенизации сингенетических включений в минералах	В жидкую фазу, или при той же температуре - в жидкую и газовую фазы; в области верхней температурной границы характерна существенная дисперсия замеров		Характерна равнотемпературная гомогенизация в жидкую и газовую фазы
	Относительное количество включений в минеральных агрегатах (декрептоактивность в интервале 100-500 °С)	Резко повышенное по сравнению с не золотоносными участками (декрептоактивность n100 - n1000 импульсов, против рядовых n10		

Таблица 35

Признаки		Группы месторождений		
		относительно больших глубин	средних глубин	малых глубин
	Средние значения температурного градиента по вертикали, °С на 100 м	8 - 10°	12 - 16°	25 - 30°
Неблагоприятные		>30 -35°	>35 - 40°	>50 - 70°
	Распространение минеральных агрегатов с сингенетическими семействами включений следующих типов	Газовые и существенно газовые (с устойчивым наполнением) или только газово-жидкие и многофазовые с объемом газовой фазы более 20-25%, а также существенно жидкие с объемом газовой фазы не менее 15-18%		
	Термобарометрические показатели минералообразования	T >300° и < 190° P >100 Мпа и < 50 МПа		T >300° и <180° P >20 МПа

Тепловые поля, в которых развивалось золотое оруденение, обладали неоднородностью, уверенно распознаваемой с помощью методов термобарогеохимического картирования. Положение палеотемпературных зон и их конфигурация были подчинены системе рудоподводящих каналов, глубинных генерирующих очагов, и в значительной мере сохранялись на разных стадиях рудообразования. Градиенты увеличения температуры с глубиной, как правило, выдержаны в интервале 40-7 °С на 100 м, по латерали в среднем 5-1 °С на 100 м. Определяющая роль фактора глубинности оруденения осложнялась влиянием особенностей геолого-структурной позиции месторождений, что сказывалось на локальном повышении температуры, давления, концентрации солей при закономерном снижении плотности минералообразующих растворов по мере приближения к крупным зонам тектонической активности и к контактам интрузивов, близких по времени к оруденению.

Температурные условия образования золоторудных месторождений изучены довольно полно. Практически по месторождениям всех типов имеются термометрические данные, полученные методами гомогенизации и различных геотермометров. Даны эти сведения в ряде монографий, трудах МАГРМ и тезисов докладов Совещаний по термобарогеохимии 1968, 1972, 1976, 1982, 1986, 1990, 1994 годов. Некоторые результаты специальных детальных исследований приведены ниже.

Ю.В.Ляхов [1968] методом гомогенизации показал, что формирование месторождения Балей происходило при средних температурах. Величина температурных градиентов по простиранию жил составляет от 3-4 до 6-7 °С на 100 м, а по падению — 19-21 °С на 100 м (рис. 6). Установлено, что направление тензора совпадает с северо-восточным склонением рудных столбов. Температура образования, °С: 1 — стадии (ранний халцедоновидный кварц) — 280-250; 2-й стадии (продуктивной) — 245-220; кварц-карбонатной — 275-150; сульфидно-кварцевой — 190-150; антимонит-кварцевой -160-145. Температура образования минералов отдельных стадий меняется в пространстве. Так, для кварц-карбонатной стадии на отметке 550 м она составляет 255-200°; 500 м — 275-225°; 290 м — 230-260°; 240 м — 240-205°. Вертикальный градиент для начала этой стадии составляет 19-21°/100 м, для конца — 15°/100 м (рис. 7).

На месторождениях Капник, Бая Спире, Оанца, Сусанна и других В. Помырляну, А. Мовиляну и Шт. Михалка [1968] определили температуру продуктивной стадии от 200 до 296 °С при градиенте 15,6°/100 м (до глубины 443 м). По геотермометру Куллеруда температура образования сфалерита месторождения Капник — 275-315°, а по гомогенизации газово-жидких включений — 243-310°. При этом с глубиной температуры гомогенизации и декрепитации сфалерита возрастают (155-150 и 275-290°С соответственно на глубине 233 м и по жиле Иосиф).

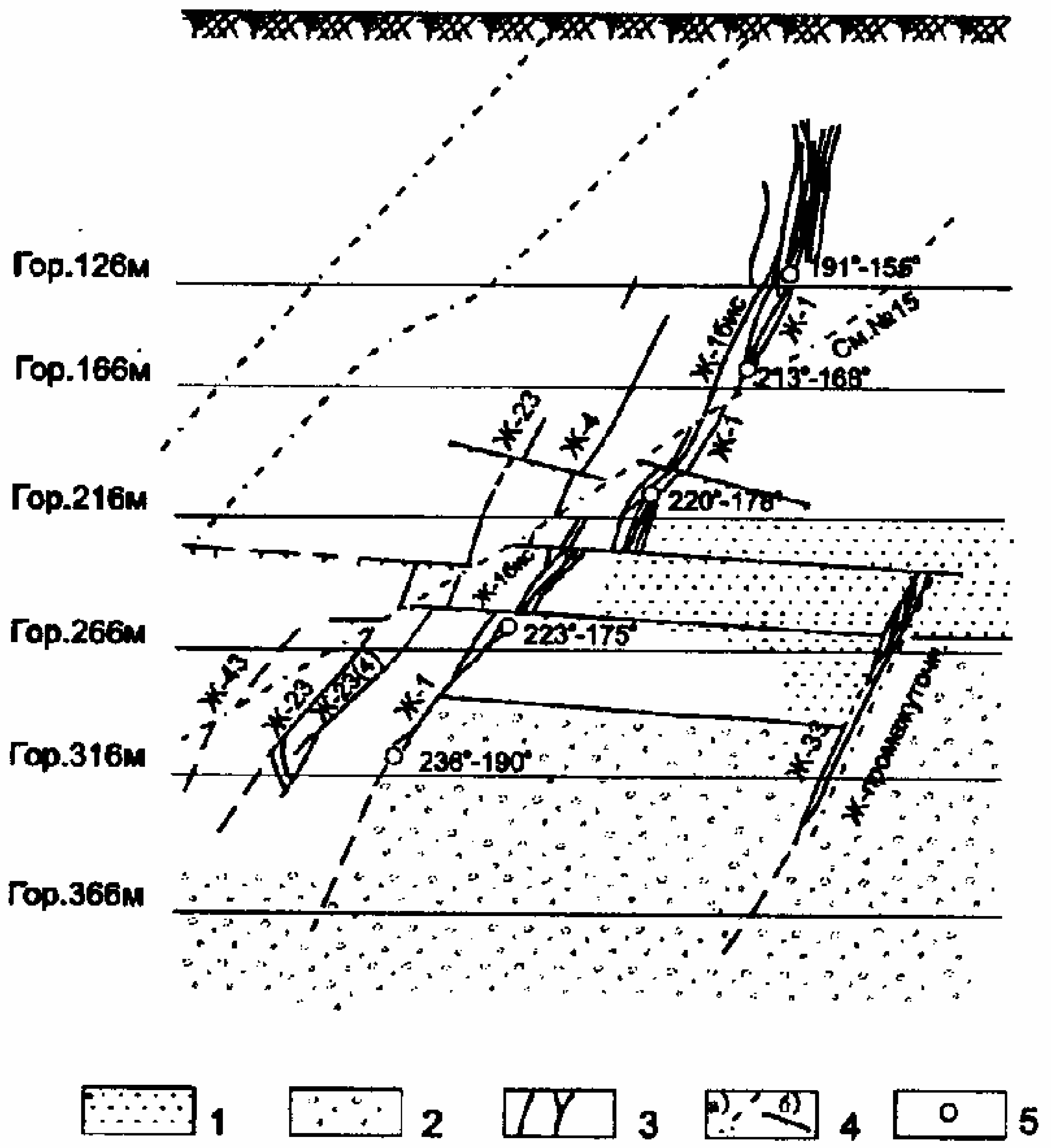


Рис. 6. Изменение температуры формирования кварца продуктивной ассоциации по жиле №1 Тасеевского месторождения (Забайкалье) (по Ю.В. Ляхову).

1 - песчаники; 2 - конгломераты; 3 - рудные жилы; 4 - разрывные нарушения - а) крутопадающие, б) пологие; 5 - места отбора проб для термобарометрического изучения.

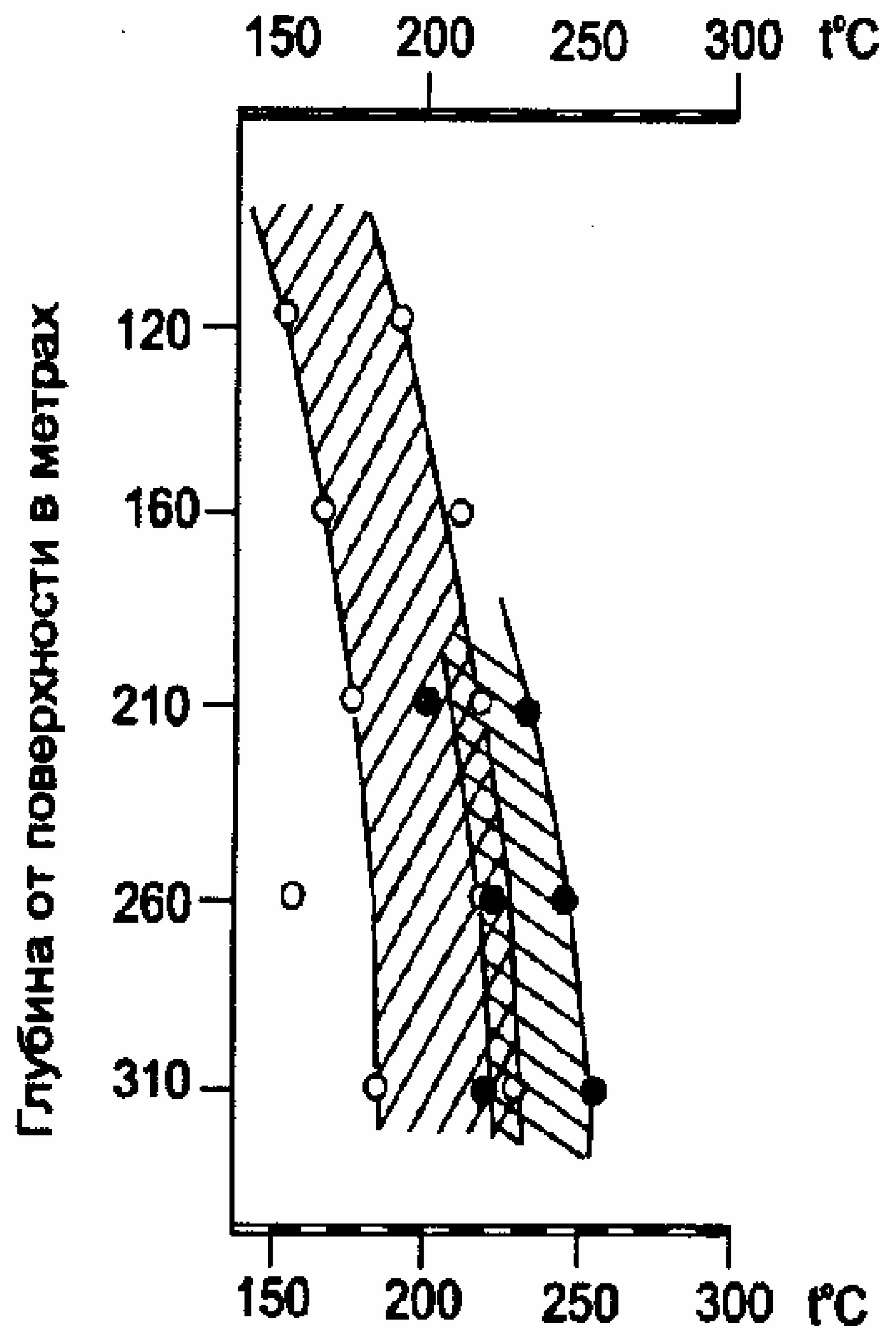


Рис. 7. Градиенты температур образования кварца продуктивной ассоциации Тасеевского месторождения (Забайкалье).

Пустые кружки - места отбора проб по жиле №1; залитые кружки - то же по жиле №28 (по Ю.В. Ляхову).

На близповерхностных месторождениях Рудных гор (Румыния) М. Боркош [1969] описывает следующую температурную зональность (сверху вниз): теллуриды с золотом — 260-190°, пирит-арсенопиритовая минерализация — 345-240°, безрудный кварц — 360-300°С. Примерные значения вертикального градиента температур составляют 20-25°/100 м.

Тщательные и объемные исследования условий образования и температурной зональности в течение 1979–1994 г.г. выполнены В.И. Гончаровым, А.А. Сидоровым, Н.А. Шило. Они выделяют температурные зоны: нижнюю устойчивого режима, зону тепловых пульсаций, зону изотермического рудоотложения, верхнюю зону устойчивого градиента. Установлена природа реювенаций растворов, выделен особый тип месторождений прогрессирующего развития.

На месторождении Архарлы нами выделяются 3 стадии формирования руд: ранняя с развитием мелко-тонкозернистого кварца I; продуктивная золото-кварцевая (кварц II) и поздняя кварцевая с небольшим количеством халцедона и карбонатов. Первичные включения в кварце I двухфазовые с наполнением 80-75%, гомогенизируются в жидкую фазу при температурах 195-310°С. Кварцы продуктивной стадии содержат большое количество первичных, первично-вторичных и вторичных включений. Первичные и первично-вторичные включения имеют форму негативных кристал-

лов или неправильную размером 0,003–0,008 мм. По составу они двухфазовые с наполнением 70-80%, гомогенизируются по I типу. В этой стадии выделяется несколько разновидностей с различной температурой: 1) друзовидный кварц – у основания друз 265-310°С, по зонам роста – 185-270°С; 2) крупнозернистый аметист – 205-245°С; 3) зернистый непрозрачный кварц с вкрапленностью сульфидов – 165-235°С; 4) мелко-среднезернистый аметист 165-238°С; 5) мелкозернистый прозрачный кварц – 198-220°С; 6) золотоносный кварц с адуляром 205-215°С. Кварц III в ассоциации с халцедоном, опалом и реже кальцитом имеет существенно жидкие включения с температурой гомогенизации 60-70°С. Экспериментальные данные по декрепитации (Дк) обрабатывались статистически с построением графиков плотностей вероятностей величин: температуры начала ($Т_н$), основного максимума ($Т_м$) и конца декрепитации ($Т_к$), разности $Т_к$ -$Т_н$ (в градусах), общей интенсивности всех (J_o) и основных (J_m) максимумов. На кривой $Т_н$ кварца месторождения Архарлы отчетливо выделяются два максимума – 180° и 240°, характеризующие две стадии (предрудную и рудную). Основные температурные максимумы ДК имеют температуру 300° и 170°. Первый отвечает образованию подавляющей массы рудного кварца, второй – поздним халцедонам. Кривая $Т_к$ растянута от 220° до 560° с отчетливым максимумом на 360-380°. В целом эти данные определяют кварцы месторождения как среднетемпературные. Кривая $Т_к$-$Т_н$ характеризует длительность формирования жильного выполнения. На ней отчетливо выделяются три максимума: 60°, 160° и 320°. Оказалось, что кварцы с максимальной величиной $Т_к$-$Т_н$ характерны для богатых участков рудных тел (содержания золота 50-100 г/т и выше – до 2-3 кг/т). Кварцы с промежуточной величиной разности взяты из участков рядовых руд (8-10 г/т), а с минимальной – из безрудных участков. Наряду со статистической обработкой проводилось изучение распределения параметров ДК в объеме отдельных жил и месторождений в целом. По месторождению Архарлы значения J_o увеличиваются от жил Центрального участка (1-5 имп) через жилу 30 (5-8 имп), жилу 10 (10-20 имп) к жилам Северо-Восточного участка (50-200 имп). В этом же направлении увеличивается продуктивность рудных тел и содержания золота и сульфидов в них. В указанном направлении изменяется (в сторону уменьшения) $Т_н$ (от 300-320° до 160-200°); увеличивается $Т_к$– от 320-360° до 480-500° и соответственно возрастает $Т_к$-$Т_н$ от 60-80 до 120-240° (рис. 8).

Температурные условия месторождений средних глубин изучены недостаточно. Л.К. Дмитриев и Ю.В. Ляхов [1968], Д.А. Тимофеевский [1976] приводят данные по месторождению Дарасун — одному из немногих, где хорошо исследованы температурные условия минералообразования. Ими выделено четыре температурных стадии: кварц-турмалиновая — 410-320°, ранних сульфидов (кварц-пиритовая, кварц-арсенопиритовая) — 410-275°, золото-сульфоантимонит-халькопиритовая — 285-160° и кварц-карбонатная — 120-40°С. По величине изотопного отношения $0^{18}/0^{16}$ температура отложения кальцита из кварц-карбонатной стадии составляет 38°С. Температура образования кварца одной генерации существенно меняется в пространстве (даже в пределах одной жилы). Так, кварц из пирит-арсенопиритовой ассоциации в жиле Лагуновская на верхних горизонтах имеет температуру 320-280° на нижних — 370-360°С при вертикальном градиенте до 50°/100 м (рис. 9).

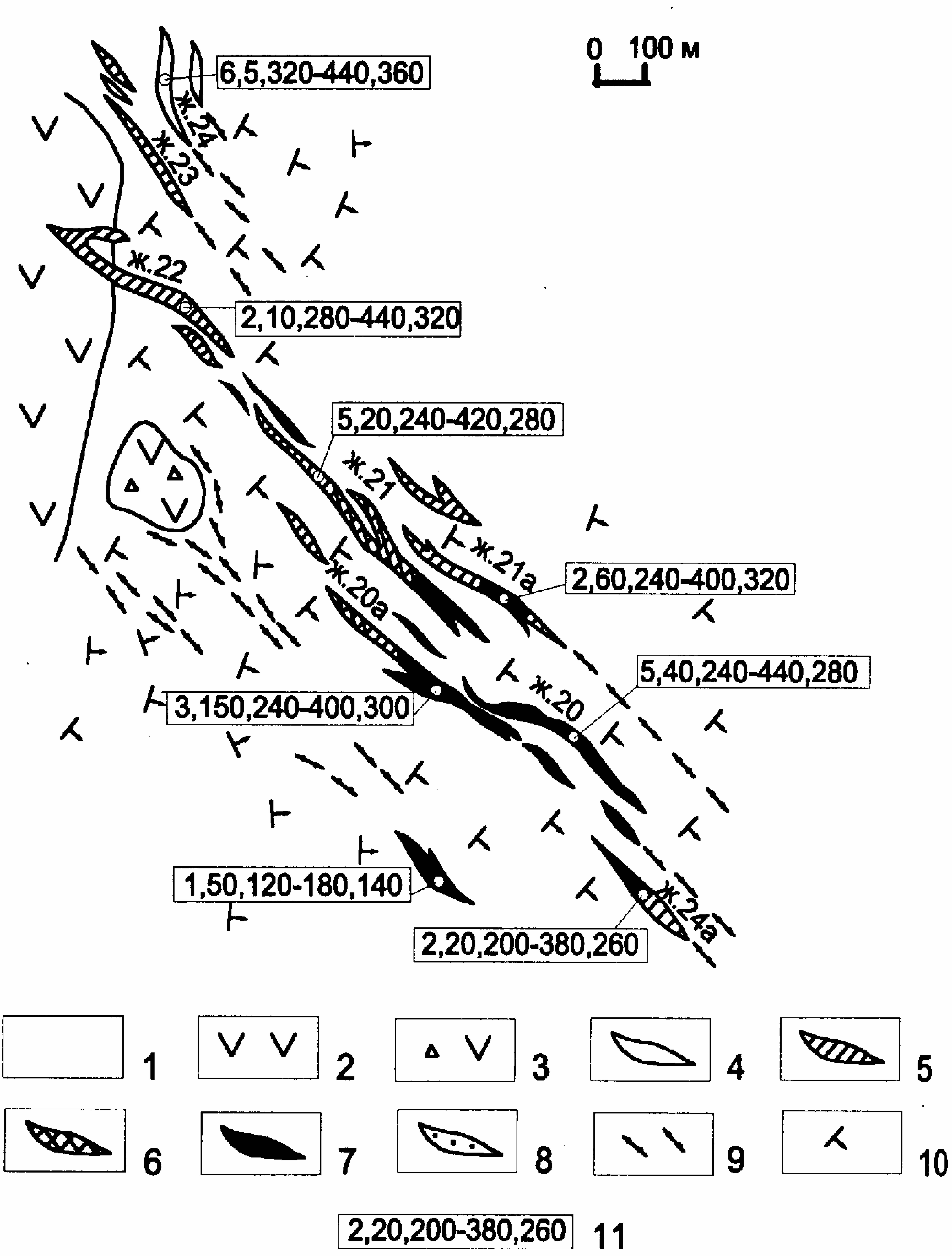


Рис. 8. Условия образования и зональность золото-серебряных жил Северо-восточного участка месторождения Архарлы (Джунгария).

1 - андезитовые порфириты и туфы; 2 - экструзия трахиандезитовых порфиритов; 3 - эксплозивно-брекчиевые трубы трахиандезитового и дацитового составов; 4 - жилы раннего брекчиевидного массивного кварца; 5 - кварц-халцедон-адуляровые жилы и жильные зоны; 6 - халцедон-полисульфидные жилы полосчатой и колломорфной текстуры; 7 - зоны рудных столбов в жилах колломорфно-петельчатой текстуры с полостями, зонами аметиста, видимым богатым золотом и серебром; 8 - халцедон-барит-кальцитовые жилы; 9 - зоны тонких халцедоновых, кварцевых, карбонатных, баритовых прожилков; 10 - элементы залегания туфовой толщи; 11 - данные декрепитации кварца (интенсивность главного максимума, общая интенсивность растрескивания, интервал температур интенсивного растрескивания, температура главного максимума, перегрев по данным гомогенизации составляет 80-100 °С).

Исследования температур формирования месторождения Бестюбе проведены Э.М. Спиридоновым, И.А. Бакшеевым, Е.В. Бахановой и автором в большом объеме на участках шахт №2 и Западной по всем доступным горизонтам и керну скважин. Отобранный в течение ряда лет материал характеризует всю колонну рудных жил. Во всех исследованных образцах кварца обнаружены единые по типу включения. По термометрическим данным формирование месторождения происходило в три основных этапа при широком развитии процессов перекристаллизации. В допродуктивный этап в диапазоне 425-270° отлагался ранний массивный кварц I, в основании редких его кристаллов температура была 425-390°, а у вершин — 290-270°. В продуктивный этап образовался массивный полосчатый мелкозернистый кварц II с пиритом II, сфалеритом, галенитом, теллуридами, золотом. Температура гомогенизации первичных включений составляет 280-165°С. Главная масса золота выделилась в среднетемпературном диапазоне 220-275°. Ниже и выше этих температур богатых золотых руд не образуется. Постпродуктивный этап характеризуется выделением водянопрозрачного халцедоновидного кварца III в ассоциации с хлоритом и кальцитом I. Этот кварц пользуется ограниченным распространением, встречаясь лишь на верхних горизонтах кварцевых жил. Первичные включения в нем гомогенизируются в жидкую фазу при температурах 95-175°. Постпродуктивный этап завершается обильным выделением кальцита II в виде крупных кристаллов ромбоэдрического облика, окрашенных в бело-розовые цвета. Декрепитация показала, что в большинстве случаев массовое растрескивание кварца происходит в широком интервале температур от 100 до 400 °С. На кривой $Т_н$ отчетливо выделяется один максимум 220-240°, на кривой $Т_м$ — два — 320° и 480° при абсолютном преобладании первого. Кривая $Т_к$ имеет один отчетливый (440°) и два неясных (320° и 500°) пика. Появление 500-градусного максимума на кривой $Т_к$ также отвечает участкам богатых руд. Поскольку руды месторождения являются богатыми в целом, на кривой $Т_к$ — $Т_н$ присутствует один максимум 220° с разбросом от 200° до 400°. Этот максимум соответствует (!) аналогичному для богатых руд месторождения Архарлы.

Температурные условия Васильковского месторождения изучались по кварцу и арсенопириту [Абишев и др., 1978]. Кварц I дорудной стадии по данным ДК имеет температуру порядка 400-420°. Включения в кварце II гомогенизируются в жидкую фазу в диапазоне 185-415°. Для кварца II ранней (арсенопиритовой) продуктивной ассоциации температура гомогенизации составляет 330-415°, а продуктивной золото-висмутовой — 185-355°. Реперной для этой ассоциации является точка плавления самородного висмута (291, 4 °С), который установлен в рудах. Пострудная стадия характеризуется кальцит-доломитовыми и флюорит-кальцитовыми прожилками. В кальците присутствуют двухфазовые включения с температурами гомогенизации 75-140°. Результаты статистической обработки данных ДК кварцев показывают, что температура главного максимума ДК составляет 340 (до 420-460)°С, этой же температуре отвечает максимум на кривой общей интенсивности. По значениям $Т_к$ и $Т_н$ выделяется три группы кварцев, отвечающих, вероятно, трем выделенным генерациям. Для определения температур образования арсенопиритов использовался метод Л.Кларка. Было установлено, что образование арсенопиритов происходило в интервале 320-470 °С, что совпадает с данными ДК. Интересные результаты получены при анализе пространственных закономерностей. Отмечается совмещение богатых руд с максимальными значениями параметров ($Т_н$, $Т_к$, $Т_н$ — $Т_к$, $J_о$ и J max). На основании выполненных измерений, обобщения литературных данных отчетливо устанавливается ряд общих закономерностей температурного режима формирования золоторудных месторождений (рис. 10).

Этапы
Стадии
Подвижки
Главные минеральные ассоциации жильного выполнения
Генерации основных минералов
Температура по включениям (в градусах С)
450 400 350 300 250 200 150 100 50 0
Характер околожильного изменения
Концентрация растворов в вес.%
Давление в атм.
Внедрение плагиогранит-порфиров
Пневматолитово-гидротермальный
Гидротермальный
1. Кварц-молибденитовая
2. Кварц-пиритовая
3. Кварц-турмалиновая
4. Кварц-пиритовая
5. Кварц-пирротиновая
6. Кварц-пирит-арсенопиритовая
7. Кварц-арсенопиритовая
8. Арсенопирит-карбонатная
9. Сфалерит-галенитовая
10. Халькопирит-буронитовая
11. Кварц-сульфоантимонитовая
12. Халцедон-карбонатная
13. Карбонатная
Кварц I
Молибденит
Пирит I
Кварц II
Турмалин
Пирит II
Карбонат I
Кварц III
Шеелит
Серицит
Пирит III (или пирротин I)
Арсенопирит I
Карбонат II
Кварц IV
Пирит IV (или пирротин II)
Сфалерит
Халькопирит
Кубанит
Галенит
Блеклая руда
Арсенопирит II
Бурнонит
Сульфовисмутиты Cu, Pl.
Висмут, теллур
Золото
Теллуриды Ag и Au
Сульфоантимониты Pb
Карбонат III
Внедрение лампрофиров
Халцедон
Кварц V
Гетит
Карбонат IV
Флюорит
Марказит
Реальгар, аурипигмент
Палыгорскит
Гипс
4 или 5
Халцедон
Кварц
Пластинчатый
Ромбоэдр.
Скаленоэдр.
Призматический
pH
200(pH=7)
227,0
216,0
227,0
207,3
218,0
199,5
227,0
218,0
206,5
227,0
218,0
206,0
199,8
178,5
174,4
154,0
167,0
199,5
227,0
187,0
190,0
197,3

Рис. 9. Сводная температурно-парагенетическая схема минералообразования Дарасунского месторождения (по Ю.А. Лехову и др.).

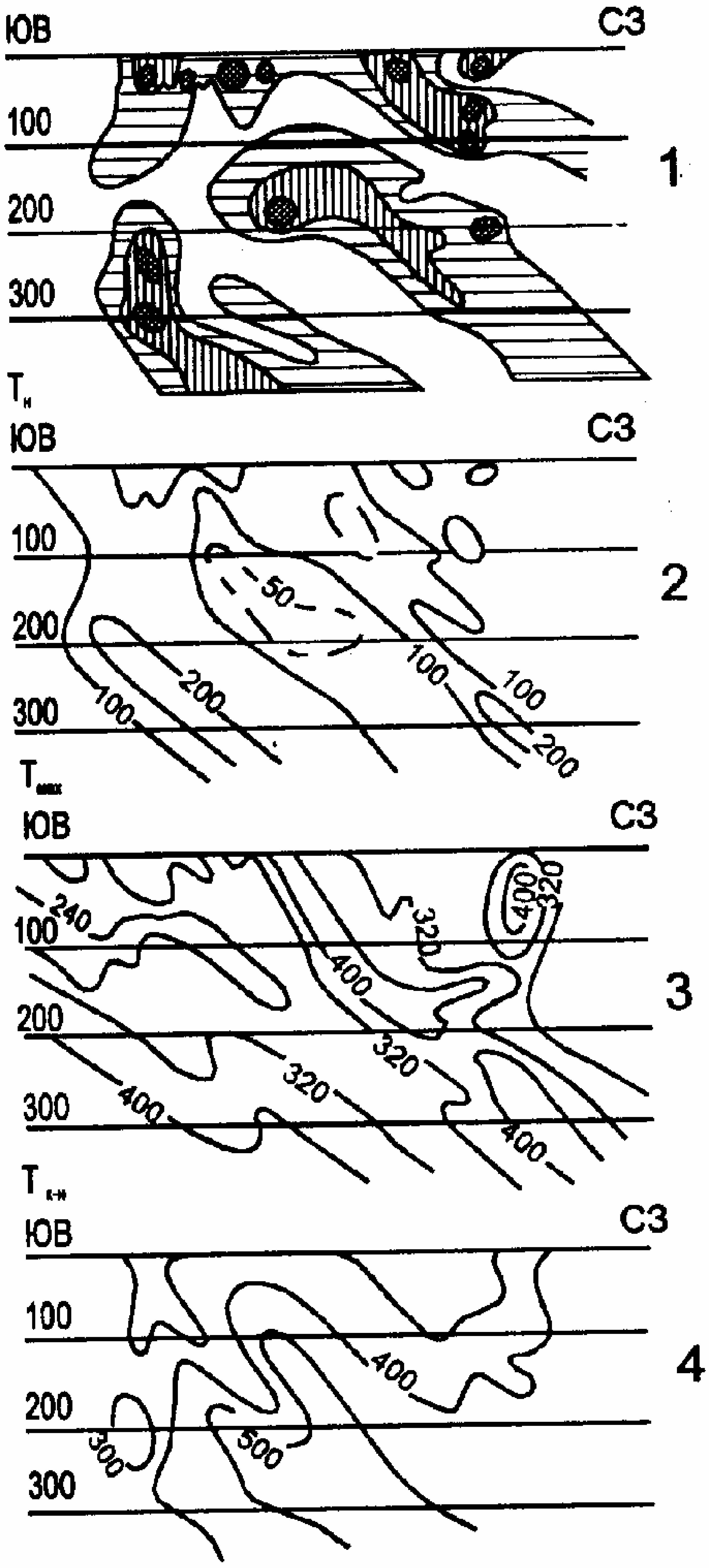


Рис 10. Температурные условия образования кварца продуктивной стадии Васильковского месторождения.

1 - распределение концентраций золота (1 г/т, 3 г/т, 10 г/т); 2 - изолинии температур декрепитации; 3 - изолинии температур максимума декрепитации; 4 - изолинии значений разности температур конца и начала декрепитации.

1. По температурам образования кварца и продуктивных сульфидных ассоциаций выделяется две группы месторождений — среднетемпературная и низкотемпературная. Первая характеризуется интервалом 400-200°С с максимумом 250°С и вторая — 240-120°С с максимумом 170°С. При этом разность начала и конца формирования собственно продуктивной стадии составляет 120-150° для плутоногенных и 50-70° — для вулканогенных месторождений.

2. Значения инверсий температур последовательных стадий увеличиваются от плутоногенных среднеглубинных к вулканогенным близповерхностным месторождениям, что связано с возрастанием степени "открытости" РГС (рис. 11).

3. Крупные по масштабам месторождения с высококонцентрированными рудами формируются в условиях длительного сохранения оптимальных температур, что находит выражение в образовании ряда рудных парагенезисов с близкими перекрывающимися температурами гомогенизации.

4. Участкам богатых руд (столбов) отвечают значения максимальной общей насыщенности включениями. Это явление мы объясняем вскипанием растворов и массовой кристаллизацией рудных минералов. Кроме того, рудные столбы отличаются максимальной длительностью сохранения оптимальных температурных условий, фиксируемых максимумом разности начала и конца декрепитации (табл. 36). Это явление мы объясняем с позиций эндотермостатирования РГС [Летников и Нарсеев, 1971].

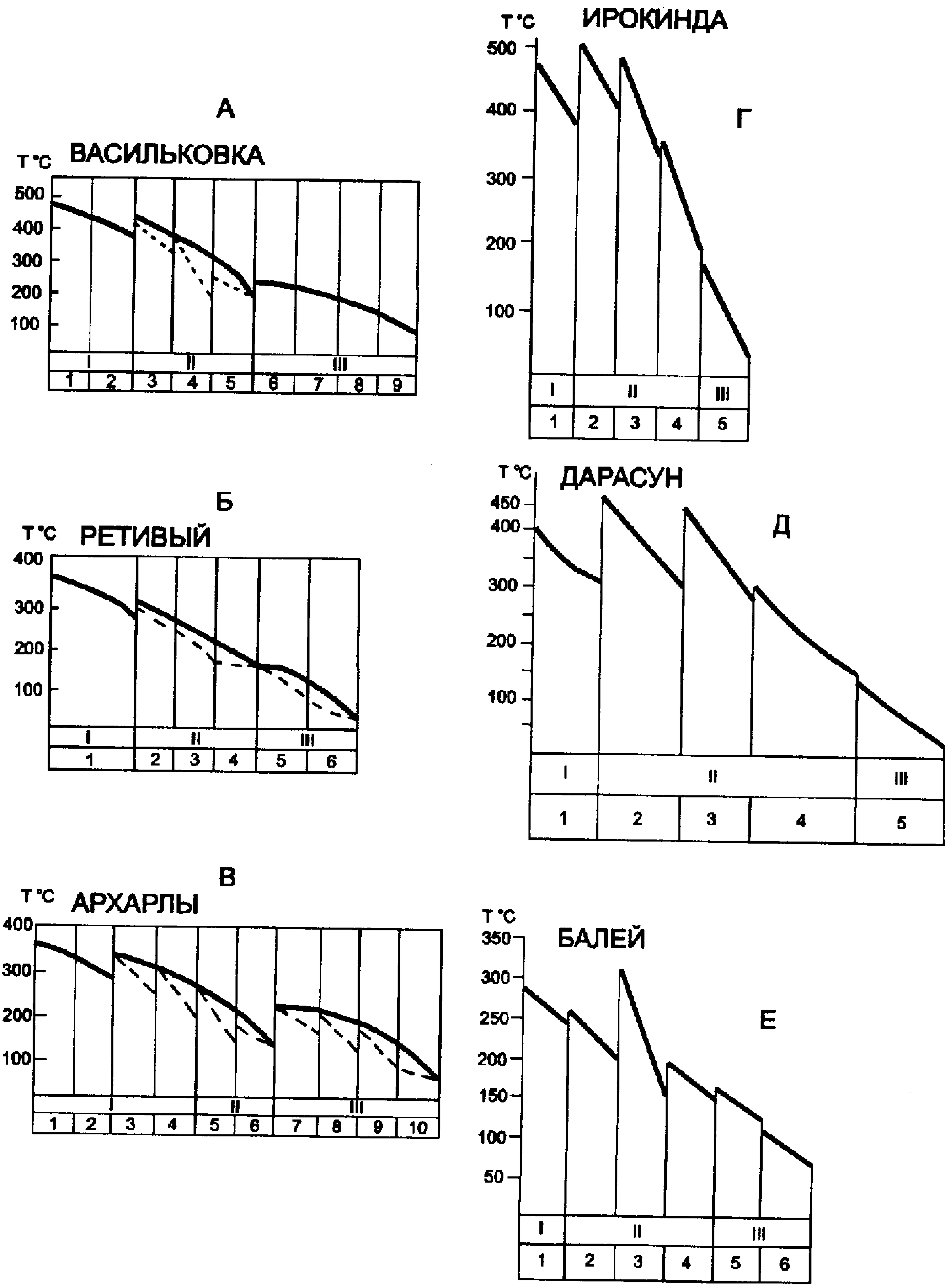


Рис. 11. Величины температурных инверсий стадии минералообразования на месторождениях различной глубинности (по данным термобарометрических исследований ГЖВ).

I, II, III - стадии минералообразования; 1, 2, 3, 4,... - минеральные ассоциации.

Таблица 36

Значения $T_к$ - $T_н$ кварцев золоторудных месторождений с различной интенсивностью оруденения

№№ п/п	Месторождение	Уровень глубинности	Минеральный тип	Значения $T_к$ - $T_н$ для руд рядовых	богатых
1	Жильное	гипабиссальный	убогосульфидный, золото-кварцево-теллуридный	100°	200-350°
2	Жильное	близповерхностный	убогосульфидный золото-кварц-адуляровый полисульфидный	80-100°	150-250°
3	Штокверк	гипабиссальный	убогосульфидный золото-кварцево-арсенопиритовый	100°	150-200°
4	Зоны минерализации	близповерхностный	умеренносульфидный золото-арсенопиритовый	50-100°	150-300°

Примечание: К богатым отнесены руды на 1-2 порядка превышающие по содержанию рядовые.

Большой экспериментальный материал и результаты статистической обработки, изложенные выше, показывают относительную стабильность температур образования главных минералов золоторудных месторождений (кварц, сульфиды железа и мышьяка) в различных геологических обстановках. Это является важным аргументом в пользу обоснованности излагаемых ниже представлений об устойчивости схемы минеральной зональности золоторудных месторождений.

4. Эндогенная зональность золоторудных месторождений

Теория эндогенной зональности сегодня является важным разделом учения о рудных месторождениях. Она описывает и объясняет закономерности локализации руд различного состава во времени и пространстве любого объема (уровня) — от крупных регионов до рудных тел. Накопленный эмпирический материал, данные экспериментов и моделирования, теоретические разработки в области физико-химической динамики рудообразующих гидротермальных систем (РГС) однозначно свидетельствуют о том, что зональность есть наиболее общее свойство месторождений полезных ископаемых. На уровне современного состояния теория зональности является, пожалуй, единственно реальной основой детального прогнозирования, в особенности скрытого оруденения. Все это определяет высокий интерес к проблеме и актуальность ее исследования на примере месторождений различных металлов. Первые идеи теории зональности были высказаны в конце XIX–начале XX вв. и базировались на материале изучения медных и оловянных месторождений Корнуолла. Но многие закономерности отложения руд, в том числе, вероятно, и относительно размещения руд различных металлов, использовались в глубокой древности [Аникин, 1984, Марфунин, 1987]. По данным Саги [Парк и Мак Дормид, 1966], на золотых рудниках Кассандры (Греция), разрабатывавшихся с 2500 до 356 г. до н.э. искусное извлечение золото-серебряных руд было основано на знании их свойства локализоваться в виде столбов, по направлению которых и проходились выработки. По Плинию и Ксенофонту, месторождение серебра Лавриум (Греция) отрабатывалось шахтами, число которых составляло более 2000, что свиде-

тельствует о хорошем знании древними рудокопами положения рудных тел в пространстве. Многочисленные примеры отработки богатых руд на оловянных и медных месторождениях Средней Азии и Казахстана чудскими племенами (андроновская культура, 1-2 тыс. лет до н.э.) также характеризуют уровень знаний рудокопов древности.

Первые обобщения в виде теории образования рудных тел, классификации минералов и форм рудных тел принадлежат Г. Агриколе и изложены в знаменитой De Re Metallica. Описание гидротермального рудообразования дано Декартом в Principia Philosophia в 1644 году.

Большой вклад в развитие представлений о закономерностях образования месторождений внес М.В. Ломоносов [1957]. Основные его идеи, имеющие отношение к теории зональности, состоят в следующем. В описании рудных месторождений совершенно отчетливо выражено учение о совместном нахождении минералов — парагенезисе, которое было разработано лишь в XIX в. А.Брейтгауптом. Серьезное внимание в работах М.В.Ломоносова уделено вопросам положения богатых руд. Идеи, высказанные в ряде его трактатов, служат основой нынешней теории рудных столбов. Утверждение о разновременности образования рудных жил "... сами рудные жилы не в одно время родились. Уверяет в том, 1) разное жил взаимное пересечение, 2) швы между жилами и меж самою горою, 3) пустые щели" (стр. 65) дает основание считать, что в нем содержится представление о стадийности оруденения. М.В.Ломоносовым отмечена изменчивость содержаний золота с глубиной и наличие признаков, по которым могут быть обнаружены руды: "Сии признаки состоят в положении самих жил, или в состоянии и роде минералов, кои в самих жилах, или близ оных" (стр. 158). В частности, к таким признакам отнесены ассоциации минералов, прямо указывающие на использование зональности при поисках и разведке. "... Висмут называют... крышкой руд, и что указывает часто дорогу к серебряным, золотым и оловянным рудам. Также и колчедан показывает нередко золото... Сурьму часто находят с серебряною рудою. Желтый мышьяк почитают за признак близлежащего золота..."(стр. 159). Изучение работ М.В. Ломоносова показывает, что им обобщен огромный опыт горного промысла, сделан ряд ярких выводов и далеко опередивших свое время заключений, ценность которых непреходяща и сегодня.

Идеи зонального размещения руд и месторождений в 1839 г. высказал Г.Т. де ла Бичи на примере месторождений Корнуолла, Девона и Западного Сомерсета. В 1849 г. А. Брейтгаупт сформулировал представление о существовании парагенетически устойчивых минеральных комплексов, которое сыграло важную роль в развитии теории зональности. Л. де Лоне в 1900 г. рассмотрел общие вопросы зональности, а Дж.А. Уоллер описал примеры зонального размещения оловянных месторождений Тасмании, железорудных и свинцово-цинковых месторождений Комстока, серебро-свинцовых месторождений района Зихан. Зональная теория в общем виде как теория эволюционной температурной зональности впервые в 1907 г. была сформулирована Дж. Сперром. Он писал: "...большинство месторождений представляет собой тот или иной конечный пункт магматической дифференциации ... и наиболее существенные различия между месторождениями обусловлены... последовательным отложением в теоретически вертикальных зонах; когда раствор движется по направлению к земной поверхности, происходит все более и более полная кристаллизация по мере понижения температуры". Впоследствии В. Эммонс расширил и углубил основные положения этой теории, однако ее суть осталась прежней. В. Эммонс развил теорию зональности, анализируя размещение месторождений относительно куполов интрузий. Предложенная им идеализированная колонна зональности известна под названием "реконструированной системы жил" [Emmons, 1936]. Эта схема затем была модернизирована Г. Шнейдерхеном [1958]. Трудно переоценить значение для практических целей представлений В. Эммонса, хотя они подвергались неоднократно критике. Критиковалась самая пробле-

матичная часть концепции — глубинный интрузив, относительно которого развивается зональность. В 1957 г. С.С. Смирнов опубликовал пульсационную теорию зональности [Смирнов, 1957]. Критика С.С. Смирновым температурной теории В. Эммонса и его представлений о зональности относительно куполов гранитоидов привела к некоторому ослаблению внимания исследователей к проблеме зональности вообще. Вместе с тем, важно подчеркнуть, что именно С.С.Смирнов ввел в теорию зональности важнейшую координату процесса рудообразования — время. Дальнейшее развитие этих взглядов позволило установить, что зональные отношения характерны как для отдельных стадий, так и для отдельных ассоциаций внутри каждой стадии [Вольфсон, 1955; Вопросы изучения ..., 1963; Зональность ..., 1974].

Важный вклад в развитие теории был сделан Ю.А.Билибиным, В.А. Королевым, О.Д. Левицким, В.М. Крейтером, А.Г. Бетехтиным. Развитие теория зональности получила в работах Ф.И. Вольфсона, Л.Н. Овчинникова, Г.Л. Поспелова, Е.А. Радкевич, С.Т. Бадалова, Н.В. Петровской, С.В. Григоряна, П.Ф. Иванкина, Д.В. Рундквиста, Д.А. Тимофеевского, А.П. Соловова, М. Банди, У. Петерсена, В.С. Голубева, А.Ф. Коробейникова, В.А. Кузнецова, В.Н. Шарапова, Я. Кутины, В.А. Нарсеева, В.Г. Хомича, Г.Ф. Парка мл. Фундаментальные исследования выполнены по теории метасоматической зональности академиком Д.С. Коржинским, а зональности рудных месторождений — академиком В.И. Смирновым.

Зональность золоторудных месторождений изучается давно. В ее развитие определяющий вклад внесли исследования Ю.А. Билибина, Н.В. Петровской, Н.И. Бородаевского, М.Н. Альбова, А.Ф. Коробейникова, Д.А. Тимофеевского, А.Я. Булынникова, А.А. Сидорова, В.Г. Моисеенко, Ю.В. Ляхова, В.Г. Хомича и других исследователей. В настоящее время число работ, в которых обсуждаются различные вопросы зональности рудных месторождений (в том числе и золоторудных) превышает несколько тысяч, в связи с чем перечисление даже основных авторов здесь не представляется возможным. Библиография приведена в ряде монографий, в т.ч. автора [Нарсеев, 1973].

В основе методологии выполненных нами исследований лежит системный подход, при этом зональность рассматривается как ведущее системообразующее свойство рудных месторождений [Нарсеев, 1973]. В системном анализе различают четыре типа описаний — параметрическое, морфологическое, функциональное и генетическое. Именно в такой последовательности и рассмотрена проблема в предлагаемой книге.

Определение понятий

Обычно под зональностью понимается закономерное распределение в пространстве минералов, их ассоциаций или более крупных единиц. До проведения Пражской конференции МАГРМ (1963) не существовало единого общепризнанного определения зональности. В.И. Смирнов, Ч.Ф. Парк мл. и Я. Кутина [Проблемы..., 1965] выработали такое общее определение, указав на соотношение зональности и парагенезиса. По Ч.Ф. Парку мл.: "зональность рудных месторождений определяется как какой-либо регулярный узор в распределении минералов или элементов в пространстве; она может проявляться в отдельных рудных телах, в рудных районах или в крупных регионах. Несмотря на то, что зональность определяет пространственно распределение элементов и минералов, при изучении явлений зональности следует рассматривать как время, так и пространство"(стр. 588, стр. 595). Я.Кутина определил зональность рудных тел, рудных месторождений и более крупных единиц "как какой-либо тип регулярного пространственного распределения, особенно элементов и минералов" (стр. 586). В.И. Смирнов дал такое определение: "Зональность рудных тел, рудных месторождений и региональная рудная зональность представляется как один из типов регулярного распределения элементов и минералов, обусловленного закономерным изменением минерального и химического состава руд в пространстве. Зональность обусловлена развитием процесса рудообразования во времени, в меняющихся геологических и

физико-химических условиях пространства. Обычно, но не обязательно, существует тесная связь между парагенезисом и зональностью, и эти два явления должны изучаться совместно" (стр. 587). Как видно, определение касается прежде всего, а зачастую и только, вещественного состава рудных тел, месторождений и др. более крупных единиц, то есть речь идет о минеральной и геохимической зональности. Руководствуясь основными положениями общей теории систем, мы можем каждое мыслимое свойство месторождения представить как элемент рудно-магматической системы, находящейся во взаимодействии с другими. При таком подходе понятие зональности значительно расширяется и охватывает любые свойства рудных тел, месторождений (состав, размер, форма, температура образования, отношения отдельных элементов, любые физические и химические свойства минералов и т.п.). Само определение зональности неизбежно включает в себя весь круг свойств и может быть сформулировано следующим образом: **Зональностью называется закономерное распределение свойств геологических тел и их систем, обусловленное эволюцией процесса минералообразования во времени и меняющихся геологических и физико-химических условиях пространства. Пространство и время являются неотъемлемыми характеристиками процесса рудообразования, в связи с чем зональность и парагенезис следует рассматривать совместно.** В этом наиболее общем, как нам кажется, определении зональности учтены условия, предъявляемые системным подходом.

В настоящее время в литературе описано множество типов зональности. Естественно, что видов зональности, эквивалентных зональности свойств геологических тел и их систем, существует неограниченное количество, поскольку не ограничено число свойств геологических объектов. Под **видом зональности**, следовательно, мы понимаем закономерное распределение в пространстве — времени величины (количества) какого-либо свойства геологического объекта (температура образования; содержание минерала, элемента; их отношения; физические и химические свойства минералов, ассоциаций, тел и др.), т.е. вид зональности определяется трендом свойств. **Тип зональности** отражает как конфигурацию пространства, в котором распределены свойства изучаемого объекта, так и причины ее обусловившие [Радкевич, 1959]. **Порядок зональности** отвечает уровню организации материи и определяет масштаб проявления зонального распределения свойств объекта. Нами рассмотрены также и типы зональности, выделенные в различное время и сохранившие свое значение в наши дни.

Поскольку центральным звеном в теории зональности мы считаем свойство объекта рассматриваемого уровня, необходимо кратко обсудить проблему характеристик свойства. Они могут быть качественные и количественные. К качественным можно отнести, например, такие характеристики как прямая и обратная зональность, геометрические характеристики (концентрическая и др.). Количественные характеристики представлены измеренными значениями скалярного поля свойства. Для определения степени выраженности рассматриваемой характеристики необходимо построение структуры распределения ее значений (например, содержания полезного компонента; температура декрепитации главного максимума; величина индикаторного отношения и т.п.). Значения мод элементарных распределений и их весовые показатели являются основой количественной оценки тренда свойства. Нормированные на стандартное расстояние (например, 100 м по падению, по простиранию и др.) эти характеристики являются мерой контрастности зональности свойства. Напомним, что В.И. Смирнов в 1963 г. предложил четыре чисто качественных градации зональности. Вычисление вектор-градиентов поля свойств, все шире практикуемое в описании зональности и моделировании, должно учитывать такие его характеристики, как квантовость, регулярность, периодичность, уровенность. Иначе неизбежны ложные заключения и некор-

ректные оценки контрастности зональности со всеми последствиями практического характера [Нарсеев, 1975].

Не менее важны при анализе зональности отношения свойств (их связи). Эти отношения также могут быть выражены качественно или количественно. Такие характеристики как конформная (симбатная) зональность; антагонизм свойств и прочие подобные определения относятся к категории качественных. Количественно отношения (связи) свойств выражаются на основе корреляции их трендов в полном объеме, в усеченном по значениям одного или нескольких свойств. Менее надежны корреляции одно-, двухмерные, т.к. в них трудно (или невозможно) учесть нелинейность характеристик различных свойств. Определенную помощь при таком сопоставлении могут оказать графические методы обработки вектор-градиентов свойств на круговых диаграммах типа сеток Пронина, Вульфа или др. Выполнение двух описанных процедур исследования зональности: выделение и описание свойств, анализ их отношений (связей) — непреложное требование системного анализа. Только после выполнения этого требования можно приступить к процедуре содержательного генетического анализа. Огромная библиография по теории и практике зональности свидетельствует о том, что последнее требование выдерживается крайне редко. В настоящее время существуют сотни публикаций, где генезис зональности рассматривается с самых общих позиций. Различается два генетических ряда вещественной зональности минерализации: отложения (геоизотермная теория Дж. Сперра, В. Эммонса, Р. и В. Уолксров, Г. Шнейдерхена; отложения Ю. Билибина, моноасцедентная Я. Кутины, фациальная В. Смирнова, У. Петерсена, М. Банди, Ч.Ф. Парка, диффузионная Л. Овчинникова); стадиальная (пульсационная С. Смирнова, полиасцедентная Я. Кутины, стадийная В. Смирнова). В ряде работ В.И. Смирнов отстаивал возможность выделения множества генетических типов зональности, что является следствием многообразия причин отложения вещества растворами — с одной стороны и некими "приоритетами" (авторскими) отдельных из причин (температура, геохимические барьеры разного рода и т.п.). Ясно одно — генетические трактовки каждого автора отражают его восприятие мира, его личные пристрастия и знания. Они интересны в этом отношении безусловно. Построение же общей количественной теории зональности рудных месторождений должно идти с соблюдением правил, накладываемых, например, или системным подходом, или синергетическим подходом, или какой-либо другой методологией.

Из краткого изложения принципов нашего подхода следует такая система понятий и терминов теории зональности (табл. 37). Видно, что ряду объектов "свойство — отношение свойств (связь) — генезис" соответствует ряд адекватных терминов "вид с определениями — тип с определениями — класс с определениями".

Изложенные представления применимы для одного иерархического уровня (порядка) зональности. Вместе с тем, с самых ранних работ Де Лоне до наших дней подчеркивается наличие разных порядков зональности. По В.И. Смирнову, Е.А. Радкевич, Ю.А. Билибину, Ч.Ф. Парку, Я. Кутине, У. Петерсену и др. речь идет о трех порядках: рудных тел, рудных месторождений и региональная зональность. Нам представляется правомерным рассматривать пять порядков зональности: рудных столбов, рудных тел, рудных полей, рудных районов, рудных провинций.

Одним из фундаментальных свойств природы является самоподобие (скейлинг), выражающееся в повторении свойства на нескольких смежных иерархических уровнях. Зональность не является исключением. При этом мажоритарные свойства рудной минерализации (температура, вещественный состав, структура рудолокализации) могут проявлять скейлинг в 3-4 порядках зональности: рудное тело — месторождение — рудное поле — рудный район. Другие свойства вообще не проявляют такого эффекта.

Таблица 37

Система объектов и терминов теории зональности

		Объекты изучения	Формирование системы понятий	Термины теории зональности
Процедуры системного анализа	Выделение и описание свойств	1,2,3...n-ое свойство 1,2,3...k-ые характеристики каждого свойства	адекватные наименования	1,2,3...n-ый вид зональности 1,2,3...k-ые качественные и количественные определения по каждому виду
	Выделение и анализ отношений (связей) свойств	1,2,3...m-ые отношения (связи) 1,2,3...n-ых свойств 1,2,3...i-ые качественные и количественные характеристики отношений (связей)	терминологическое структурирование зональности	1,2,3...m-ый тип зональности 1,2,3...i-ые определения 1,2,3...m-ого каждого типа зональности
	Генетические построения	1,2,3...k-ые причины1,2,3...m-ых отношений, 1,2,3...n-ых свойств, а также физико-химические параметры свойств, отношений, процессов	генетическое моделирование и адекватные понятия	1,2,3...j-ые классы зональности 1,2,3...f-ые определения 1,2,3...j-ых классов зональности

Количественно степень скейлинга можно оценить по формуле $S = \frac{N_s \log N_s(!)}{N \log N(!)}$, где N — число рассматриваемых свойств, N_s — число свойств, проявляющих скейлинг.

Структурная зональность.

Внутренняя структура рудных полей и месторождений, определяющая структурную и морфологическую их зональность, развивается на основе единых законов распределения напряжений деформации в объеме рудоносного блока пород. Структурный рисунок отражает характер этих деформаций в условиях относительно однородно или неоднородно построенного объема. В таблице 38 сделана попытка типизации элементарных форм структурного контроля для золотого оруденения.

Все рудовмещающие полости обязаны происхождением складчатым деформациям, тектонике блокового типа, эндокинетической трещиноватости интрузивов, кинематике становления экструзий и трубок взрыва, явлениям экранирования. В рудных полях в слоистых толщах структуры рудных тел определяются складчатыми деформациями, важное значение имеют меж- и внутрипластовые зоны срыва и отслоения. Особенно разнообразны структуры рудных тел в рудных полях, где ведущую роль играет разрывная тектоника. Здесь широко распространены системы сколовых и отрывных трещин с развитием явлений экранирования и оперения. В ряде случаев

рудоносные трещины закладываются как план-параллельные оперения главных дизъюнктивов, испытывая многократные подновления при последующих подвижках. Необходимо отметить, что во всех случаях рудолокализующие полости закладывались в ранний дорудный этап, часто до внедрения даек. На протяжении рудного этапа они лишь подновлялись и перерабатывались вследствие блоковых подвижек небольшой амплитуды, т.е. существенной перестройки структурного плана в этот период не было. Пострудная тектоника развита повсеместно, но амплитуда перемещений редко превышает метры — десятки метров.

Таблица 38

Схема типизации структурных форм рудоотложения

№№ п/п	Индекс	Форма	Генетические типы структур
1	2	3	4
1		I. Линейные разломы	
2	Iа	единичные	сколовые системы с волновым распределением рудолокализующих объемов
3	Iб	сочленения	классические системы оперения
4	Iв	пересечения	интерференционные периодические в пространстве рудолокализующие объемы
5		II. Блоки консолидированного основания с разломами ограничения	
6	IIа	типа сброса	системы оперения висячего бока
7	IIб	типа взброса	системы оперения лежачего бока, отслоения висячего бока
8	IIв	типа прямого надвига	объемная трещиноватость автохтона
9	IIг	типа обратного надвига	экраны - плоскости надвига
10	IIд	типа раздвига	многоярусные отслоения, экраны, брекчии обрушения
11	III	III. (Гнейсо) - вулкано-плутонические купола	штамструктуры, радиальные и концентрические (типа кон-ин-кон) трещины
12		IV. Вулкано-тектонические структуры	
13	IV-а	кальдеры обрушения	гравитационные системы радиально-концентрических трещин, брекчии обрушения
14	IV-б	резургентные купола	системы штамповых трещин
15	V	V. Области сложной складчатости	
16	V-а	S - образные складки	объемы отслоения
17	V-б	дисгармоничные складки	локальные блоки нагнетания, волочения
18	V-в	синформы	замкнутые системы истечения и нагнетания компетентных (первично и вторично) объемов
19		VI. Комбинированные формы (из I-V)	

Морфологическая сложность рудных тел определяется характером вмещающей среды при постоянном действии тектонического фактора. В изотропных средах преобладают простые формы, в анизотропных — комбинированные. Другим важным фактором является глубина заложения и становления рудовмещающих структур. Несмотря на значительное разнообразие структурного контроля рудных полей и месторождений, морфологическое выражение рудных тел на изученных объектах довольно постоянно. Это жилы и жильные зоны, линейные залежи прожилково-вкрапленных руд и брек-

чиевые трубы, т.е. все многообразие сводится к нескольким простым формам, возникновение которых отражает универсальный механизм взаимодействия гидротермального потока и Среды. Этот вывод является важным для последующего рассмотрения условий формирования золоторудных месторождений и их зональности.

Анализ структурной позиции рудных полей, месторождений, рудных тел и участков высоких концентраций в последних выявляет отчетливую наследственность, конформность мелких элементов по отношению к более крупным (самоподобие). Этот принцип является ведущим для иерархических систем, в которых организация подсистем более глубоких уровней определяется общими принципами организации крупных систем. Последовательность "рудный район — рудный узел — рудное поле — месторождение — рудное тело — рудный столб" отвечает ступеням иерархии рудно-магматических систем.

Структурная зональность — явление обычное на многих золоторудных месторождениях. Она обусловлена типами структуры рудного поля, физико-механическими свойствами вмещающих пород, характером образования и заполнения рудолокализующих трещин, т.е. всей последовательностью формирования и масштабностью развития тектонического каркаса месторождения. В.М. Крейтер [1956], вероятно, впервые подчеркнул необходимость изучения структурной зональности месторождений и дал следующую ее общую схему (снизу-вверх): зоны дробления с брекчиями, обилие трещин — зоны скольжения с тектонической глинкой — зоны рассланцевания. В соответствии с характером рудолокализующих структур меняется и характер рудных тел, определяя структурную и морфологическую вертикальную зональность. Такая система развивается в однородных толщах и усложняется в случае чередования пород различной прочности и хрупкости.

Обобщение материалов по структурной зональности крупных месторождений золота, меди, полиметаллов, ртути, урана, редких металлов (около 150 объектов) позволило нам выделить три ее типа. При этом главным классификационным признаком является направление развития и усложнения структуры. Зональности первого типа отвечают расширению и ветвлению структуры по восстанию, второго — по падению и третьего — в том и другом направлении.

Зональность первого типа наиболее характерна для близповерхностных месторождений, на что впервые обратил внимание В. Эммонс [Emmons, 1937]. Г. Шнейдерхен [1958, стр. 183], характеризуя структуры эпитермальных золото-серебряных месторождений, писал "...нередко жильные системы эпитермальных золотых и золото-серебряных месторождений начинаются с немногочисленных безрудных корней, которые вверх все более и более ветвятся с образованием новых жил. Вместе с тем, кверху возрастает интенсивность оруденения, на коротких расстояниях по вертикали возникают один за другим все новые и новые, все более богатые металлами парагенезисы, количество благородных металлов в которых возрастает. Еще выше рудные жилы разбиваются и распадаются на бесчисленные тончайшие прожилки, в которых содержание рудных минералов быстро снижается до нуля. Высота всего минерализованного штокверка в общем разрезе может достигать 500-700 м, причем оптимальной зоной благородных металлов является верхняя треть, всего лишь 150-200 м верхней части штокверка". Зональность первого типа описана для месторождений золота (Криппл-Крик, Балей, Кремниц, Байя-Марэ, Кочбулак, Чадак, Агинское и др.) олова, серебра, меди и полиметаллов (Потоси, Фреснильо, Хуанчака, Льяльягуа, Чоролке, Колкири, Оруро, Колчечака, Чокайя, Пулакайо, Мазарон, Саншайн, Гилмен, Кансай, Курсай), ртути (Монте-Амиата, Сиеле, Альмаден, Терлингуа), урана. Несмотря на различный размах оруденения, соотношение протяженности отдельных элементов структуры (штокверковой зоны, сложных и стволовых жил) относительно устойчиво и составляет 1:1:1.

Примеры зональности второго типа менее часты, но не менее выразительны. Многие крупные месторождения мира обнаруживают отчетливый переход стволовых жил в штокверки и зоны минерализации на глубину. Такие переходы описаны для золоторудных месторождений Калько, Жолымбет и др.; медных — Бьютт и др.; серебряных — Пачука, Реал-дель-Монте; полиметаллических — Кличка и других. Количественные соотношения размаха отдельных зон составляет 1:1–2:2-3.

Наиболее редки достоверные случаи проявления зональности третьего типа. В качестве примера можно привести месторождение Комсток, где соотношение ветвящихся верхней, нижней и стволовой части равно 1:1:1 при вертикальном размахе оруденения около 1000 м. Аналогична зональность ряда месторождений Трансильвании.

Формирование различных типов структурной зональности определяется многими факторами, из которых тип трещинной структуры и механизм поступления растворов в область рудоотложения являются главными. Г.Л. Поспеловым [1962] было показано, что гидродинамическое развитие флюидных систем определяет их морфологию. При образовании структур I типа факт некомпенсированности давления в верхних частях гидроколонны очевиден. Активное внедрение растворов при наличии избыточного внутреннего давления и сопровождающее явление гидроразрыва приводят к возникновению расщепленной вверх структуры. При боковом поступлении растворов или при стрессовых напряжениях в заполненной растворами структуре может возникнуть зональность III типа. При пассивном поступлении растворов в область рудоотложения (адиабатическое всасывание) формируется зональность II типа. Особенно она характерна для месторождений в ореольной зоне интрузивов, где возникают нагруженные своды, сопровождаемые областями растяжения, и крупных тектонических структур, где при сбросовых (или косых) подвижках возникают области пониженного давления.

В выделенных трех типах находят отражение наиболее общие закономерности структурной зональности, тесно связанные с общей эволюцией гидротермальных систем. Последние представляются гидродинамически связанными во всех своих частях, что обуславливает развитие единой минеральной и геохимической зональности.

Температурная зональность

Золотое оруденение формируется в условиях сложнопостроенных градиентных палеотемпературных полей, степень напряженности и конфигурация зон которых во многом определялась конкретной геолого-структурной ситуацией и фактором глубинности рудообразования. Особенно разнообразна конфигурация термобарогеохимических зон, менявшаяся от сложно-концентрической около близких по возрасту интрузивов и в структурах центрального типа до приближенно-линейной, дугообразной вдоль крупных долгоживущих разломов, выполнявших роль рудоподводящих каналов. Прочие черты, особенно фациальной зональности, более устойчивы и являются общими для большинства изученных месторождений, сходных по глубине формирования.

Пульсационная термобарогеохимическая зональность устанавливается в пределах золоторудных полей, районов и в региональном масштабе, отражая общие закономерности минеральной зональности. Локальные ее проявления связаны в основном с миграцией процессов приоткрывания рудовмещающих трещин и подновления их на определенных стадиях минералообразования. В большинстве случаев она имеет расходящийся или центробежный характер с последовательной сменой перекрывающих зон развития ранних минеральных ассоциаций поздними. Признаки ее регрессивной направленности (снижение температуры, давления, концентрации растворов по мере удаления от родственных интрузивов или системы рудоподводящих каналов) типичны для месторождений всех глубин, но менее контрастны в приповерхностных, характе-

ризовавшихся на завершающих стадиях резким усилением температурных инверсий [Поспелов, 1962].

Конфигурация и взаиморасположение зон во многом определялась особенностями развития блоковой структуры месторождений; резкие границы между зонами обусловлены, как правило, внутри- и пострудными перемещениями блоков с гипсометрическим совмещением разнотемпературных этажей оруденения. Закономерно направленное "клавишное" погружение (воздымание) серии сопряженных рудовмещающих блоков нередко приводит к видимости горизонтальной зональности, являющейся эпигенетическим отражением вертикальной. Аналогичная природа зональности устанавливается также в пределах крупных рудных узлов и протяженных зон.

Фациальная термобарогеохимическая зональность, ее структура, проявляющаяся во взаимном расположении и конфигурации участков с однотипными температурными и барическими показателями минералообразования, в целом соответствует характеру пульсационной зональности, и в зависимости от конкретной геологической ситуации меняется от сложноконцентрической до приближенно-линейной. Сложность общего "рисунка" зон определялась в первую очередь типом и характером размещения основных рудоподводящих и распределяющих каналов, наличием системы дополнительной "подпитки" растворами и неоднородностью строения рудолокализующих участков, причем резко возрастала в геологически анизотропных средах. Фрагменты концентрической зональности характерны для месторождений и рудопроявлений, формировавшихся вблизи родственных малых интрузивов, трубообразных тел эксплозивных и эруптивных брекчий, в пределах центров вулкано-депрессионных структур кольцевого и полукольцевого типов. Варианты линейной зональности с субпараллельной ориентировкой изотерм проявлены вдоль плоскостей, тектонически ослабленных и разрывных рудоподводящих структур в пределах многих месторождений.

Устойчивость типа зональности во времени выражается в сохранении главных ее морфологических элементов в течение всего рудного процесса. Меняются лишь второстепенные детали и термобарогеохимическая характеристика зон, что свидетельствует о существовании единого источника и путей проникновения растворов. Наследственные признаки фациальной зональности фиксируются по разновозрастным ассоциациям минералов в плоскости большинства изученных тел и в масштабе целых месторождений. В течение конкретных стадий начальная неоднородность тепловых полей сглаживалась, а градиенты уменьшались (на 10-13 °С по восстанию и 1-3 °С по простиранию рудных тел). Наибольшая интеграция зональных элементов, связанная с процессами теплообмена и конвекции, достигалась в участках интенсивной гидротермальной переработки боковых пород. К таким участкам нередко приурочены рудные столбы и мощные ореолы околожильного "пропаривания".

Температурные градиенты принадлежат к числу ведущих факторов дифференциации гидротермальных систем, распределения и вертикальной протяженности оруденения. Природа их обусловлена формированием рудных тел в различных геотермических зонах. Наряду с монотонным охлаждением растворов по мере продвижения в верхние горизонты, важную роль играют флуктуации в периоды резких приращений объема минералообразующих систем, особенно в приповерхностных условиях. Величина и пространственная изменчивость градиентов в общем случае закономерно снижаются при переходе от малоглубинных зон оруденения (вертикальный 40-20°С на 100 м, латеральный 7-1°С) к средне- и более глубинным (вертикальный — 10-7°С), что приближается к среднему геотермальному градиенту в областях активного орогенеза (5°С/100 м). Такая тенденция, намечающаяся также для месторождений других рудных формаций (табл. 39), подтверждает представления Н.В. Петровской об увеличении степени термостатирования процессов глубинного минералообразования. Для золоторудных месторождений она выражается увеличением угла наклона усредненных градиентов и может расцениваться как одна из наиболее важных причин роста верти-

кального размаха оруденения с глубиной [Ганеев и Покалов, 1975]. Этот фактор, наряду с другими термобарогеохимическими и геолого-минералогическими показателями, должен учитываться при перспективной оценке золоторудных полей.

Таблица 39

Средняя величина палеотемпературных градиентов (°C/100 м) в пределах месторождений разноглубинных рудных формаций.

Рудная провинция, месторождение, тип минерализации	Вертикальный	Горизонтальный	Данные(автор, год)
1	2	3	4
Золоторудные месторождения малых глубин			
Забайкалье. Убого-сульфидные кварц-карбонатные жилы и штокверк, приуроченные к грабен-синклинали:			Ю.В.Ляхов, 1967
- жилы в песчаниках и конгломератах	25	4	
- жилы в гранодиоритах	30	5	
Нижнее Приамурье. Убогосульфидные адуляр-кварцевые жилы (с гидрослюдами, хлоритом, родохрозитом) среди андезитов, дацитов, туфов приконтактовой зоны гранитоидного массива	40 (от 30 до 70)		Т.Н.Косовец, В.В. Крылова и др., 1978
Казахстан. Убогосульфидные кварцевые жилы	30 (от 20 до 40)	3	В.А.Нарсеев, Е.В.Баханова, 1978, 1961, 1965
Восточные Карпаты. Бая-Сприе.	15-17	2	
Северная Добруджа. Галенит-сфалерит-кварцевая ассоциация золотоносных жил	15	1	
Золоторудные месторождения средних глубин			
Урал. Умеренносульфидные жилы среди базальтов	16 (от 10 до 20)	2	Л.И.Колтун, 1957
Забайкалье. Умеренносульфидные арсенопирит-пирит-кварцевые жилы (с блеклыми рудами, халькопиритом, сфалеритом, галенитом) среди диоритов и амфиболитов вблизи штока плагиогранит-порфиров с эксплозивными брекчиями	15	5	Ю.В.Ляхов, 1968-1975
- Кварц-актинолит-магнетитовые жилы (с видимым золотом, шеелитом и редкими сульфидами) в гранитах и габбро-диоритах	13	6	Ю.В.Ляхов, 1968-1975
- Умеренносульфидные пирит-арсенопирит-кварцевые жилы и метасоматические залежи (с сурьмяной минерализацией) среди гранодиоритов	11	4	Ю.В.Ляхов, 1968-1975
Казахстан. Умеренносульфидные кварцевые жилы	10-20	3	В.А.Нарсеев, Е.В.Баханова, 1978
Золоторудные месторождения больших глубин			
Северная Бурятия. Малосульфидные кварцевые жилы в породах метаморфического комплекса	11	3	Ю.В.Ляхов, И.В.Попивняк, 1977
Ленский район. Малосульфидные кварцевые жилы и метасоматические тела среди графитизированных кварц-слюдистых сланцев	(от 5 до 10)	1-2	В.А.Ехиванов, 1980

Рудоподводящие каналы выделяются, как правило, по ореолам повышения температуры и ее аномальными градиентами (в глубинных условиях — 30°/100 м). В средне- и глубинных зонах такие ореолы отличаются повышением роли газообразных и высококонцентрированных (до 30-50 мас.% экв. NaCl) жидких растворов, а в малоглубинных — интенсивным вскипанием гидротерм, обедненных CO_2 и солями (0,5-4 мас.% экв. NaCl).

Морфология палеотемпературных зон в плоскости разноглубинных рудных тел специфична. Для приповерхностных характерен сравнительно спокойный "рисунок" изотерм, пологопогружающихся с удалением от главных рудоподводящих каналов и свидетельствующих о существовании относительно открытой системы с единым однонаправленным фронтом гидротерм. Аналогично ориентированы и пологие зоны концентрации рудных бонанцев. В жилах более глубинных месторождений проявлена более сложная, многоструйная структура изотерм с элементами изменчивости 2-го и 3-го порядков, приуроченными к локальным участкам повышенной трещиноватости. Осевые части элементов 1-го порядка характеризуются обычно признаками интенсивной гетерогенизации растворов и контролируют положение большинства золоторудных столбов.

Эпигенетические преобразования зональности характерны для всех изученных месторождений, особенно приповерхностных. Они выражаются в скачкообразных изменениях термобарогеохимических показателей, отчетливо фиксируемых при картировании рудных зон в участках проявления вертикальных внутри- и пострудных перемещений.

Термобарогеохимическая зональность обусловлена в пределах золоторудных полей характером сочетания конкретных геолого-структурных и литолого-фациальных условий, а также особенностями термобарического режима гидротермальных процессов и динамики их направленно-регрессивного развития в разноглубинных зонах. Изменчивость неоднородности тепловых полей в общем случае зависима от динамического характера потока и энтальпии флюидов, температуры пород, их физических (проницаемость) и теплофизических (теплоемкость и др.) свойств [Летников и Нарсеев, 1971].

Среди геологических факторов структурный является одним из решающих, как в отношении качественных (морфологических), так и количественных показателей фациальной термобарогеохимической зональности. Последнее доказывается данными о закономерном снижении температуры, концентрации и газонасыщения минералообразующих растворов по мере удаления от участков развития эксплозий, зон повышенной трещиноватости, узлов сочленения крупных жил и по их восстанию. Второстепенные детали зональности и неустойчивости ее градиентов в большей мере предопределялись литологическими факторами, связанными с неоднородностью рудовмещающей среды — ее составом, теплоемкостными и, прежде всего, физико-механическими свойствами, определившими возможность инфильтрации или, напротив, экранирования гидротерм. Проявление таких факторов особенно типичны для малоглубинных месторождений, в пределах которых высокие и относительно устойчивые значения тепловых градиентов отмечаются в жильных системах среди плотных пород — гранодиоритов, порфиритов, конгломератов, а пониженные и резко меняющиеся — в участках жил, расположенных в пористых песчаниках, туфах и других породах. Именно в толще песчаников, по данным декрепитационного профилирования вкрест жильных зон Балея фиксируются (на удалении до 100-150 м) отчетливые признаки обширных ореолов инфильтрации гидротерм. В гранодиоритах мощность таких зон около 20-30 м, а со стороны висячего бока жил — до 50 м; соизмеримые ореолы характерны и для более глубинных жил, залегающих в интрузивных и метаморфических породах.

Роль фактора глубинности, проявляющаяся в увеличении термостатирования условий рудообразования, сказывалась преимущественно на количественных показателях термобарогеохимической зональности, ограничивая пределы вариации градиентов. Это способствовало общей стабилизации теплового режима, замедлению и сокращению его флуктуаций во времени и приводило к развитию более широких изотермических зон минералообразования в пространстве. Приведем несколько примеров хорошо изученных рудных полей.

Температурная зональность Кулуджунского рудного поля (Юго-Западный Алтай) изучалась нами и А.М.Мысником методами декрепитации (ДК), гомогенизации (Г) и термолюминесценции (ТЛ). Было установлено, что величина диапазона температур формирования кварца составляет 420-180° (табл. 40).

Таблица 40

Температурные интервалы формирования кварца различных зон

Зона	Температура ДК, °С		Интенсивность ТЛ, усл. ед.
	от	до	
Золото-сульфидная (метасоматический кварц)	380	420	30-35
Золото-сульфидно-полиметаллическая	270	320	-
Золото-полисульфидная	240	260	50-70
Золото-сурьмяная	120	210	200-400

Эти данные ДК находятся в согласии с данными гомогенизации, несистематически отличаясь от них на величину ± 30-50°. Они подкрепляются результатами изучения термолюминисцентных свойств кварцев. Расчетами А. Мысника показано, что величина активации дефектов кварца изменяется от 1,5-1,8 электрон-вольт для нижних горизонтов до 2,5-3,7 эв — для верхних. При объемном изучении температурной зональности рудного поля установлено отчетливое различие отдельных участков по температурным условиям. На современном эрозионном срезе обнажаются зоны, сложенные минералами разных стадий. Поскольку результаты касаются связанной системы жил одного поля (имеются результаты измерений контрольным методом), считаем правомерным использование результатов ДК для суждения об относительных температурах формирования жил. Рассмотрение температур начала ДК ($Т_н$) показывает, что кварцы наиболее глубоких частей месторождения (уч. Варяг и Александровка) имеют повышенную моду значений $Т_н$ (280 и 340°). В то же время для кварцев средних горизонтов, сложенных продуктивными ассоциациями (уч. Ретивый), мода $Т_н$=220, а поздних и того менее — уч. Бала $Т_н$ = 180°. Наличие кварцев поздних стадий на уч. Варяг и Александровка фиксируется максимумами в 220 и 180° на кривых $Т_н$. Еще более отчетливо это отражается на кривых распределения температур окончания ДК. Наиболее просто распределение $Т_к$ для раннего кварца (уч. Варяг), где мода составляет в среднем 320-360° и позднего (уч. Бала) – 280°. Кварцы продуктивных зон формируются в самом широком диапазоне температур, обнаруживая высокую неоднородность (моды $Т_к$ = 140, 210, 320 и 380°). Длительность и сложность температурного режима является, как это выясняется на ряде примеров, непременным условием формирования продуктивных зон. Распределение температур главных максимумов ($Т_м$) отражает, правда менее четко, те же закономерности. Важно отметить, что рудные кварцы имеют второй максимум (420°), отвечающий участкам рудных столбов. Очень отчетливо длительность формирования рудных кварцев фиксируется на кривой распределения разности $Т_к$ и $Т_н$. При этом, длительность процесса формирования кварцев послерудной стадии минимальна (уч. Бала — 40-160, мода 100°). Насыщенность газово-жидкими включениями (ГЖВ) характеризует основные особенности процесса минералообразования. Прежде всего, отчетливо видно, что в температурном интервале 280-340° происходит наиболее активное формирование ГЖВ. Как было показано нами ранее [Нарсеев, 1968 в], этот интервал отвечает резкому падению растворимости кремнезема и массовому отложению кварца. Обращает на себя внимание высокая

насыщенность ГЖВ рудных кварцев в широком диапазоне температур (уч. Ретивый). Анализ пространственного размещения кварцев с различными термолюминесцентными свойствами подчеркивает ТЗ. В обобщенном виде результаты исследования представлены в табл. 41. Устанавливается отчетливое закономерное изменение интенсивности и вида кривой ТЛ кварца по простиранию рудного поля. Кварцы ранних генераций из подрудной части общей колонны зональности поля (уч. Варяг) имеют низкий уровень ТЛ, из продуктивной части (уч. Ретивый и отдельные столбы уч. Александровка) — максимальную ТЛ (I и II максимумы), из надрудных зон (уч. Бала) — максимальное значение III максимума. В целом, совершенно отчетлива тенденция высвечивания кварцев ранних генераций.

Таблица 41

Изменение ТЛ кварцев Кулуджунского рудного поля

Участки	Максимумы					
	первый		второй		третий	
	T °C	усл. ед.	T °C	усл. ед.	T °C	усл. ед.
Варяг	200	200-3000	250	200-500	-	-
Ретивый	200	1000-2160	250	500-4000	300-350	800-6500
Александровка	200	300-7000	250	500-3500	325	200-300
Бала	150	6200	225	3000	350	2800

Как видно, зональность рудного поля относится к моноасцендентному типу, ей аналогичны зональность Лайлинского, Сенташского, Джумбинского полей этого же региона.

Зональность Васильковского месторождения (Северный Казахстан) имеет сложный характер, что обусловлено телескопированностью оруденения. Температуры образования арсенопирита (на основе геотермометра Кларка) изменяются от 350 до 470°. При этом температуры 450-470° характерны для периферийных (внешних) зон рудных залежей, а внутренние их части, отвечающие развитию продуктивных стадий, имеют температуры 320-370°. Градиенты достигают 30-50°/100 м по падению. Изучение распределения значений параметров ДК выявило сложную картину. Участкам богатых руд (осевые части рудных залежей) соответствуют максимальные значения разности $T_к$-$T_н$. В целом, по склонению рудных залежей отмечается некоторое возрастание значений $T_н$ и $T_к$ кварцев. Как и на других месторождениях, участкам богатых руд отвечают повышенные значения общей интенсивности декрепитации.

На жильном месторождении Бестюбе (Северный Казахстан) температурная зональность (по кварцу методом гомогенизации) была изучена в интервале 115–920 м для системы жил Южных. Для кварца II устанавливается вполне отчетливое возрастание температур гомогенизации от 110-120° до 160°, при вертикальном градиенте 15-20°/100 м. Для кварца 1 изменения носят менее определенный характер, однако в среднем происходит возрастание температур гомогенизации от 265-280° (гор. 250 м) до 350° (гор. 430 м) при градиентах до 35-40°/100 м. В целом, зональность на месторождении имеет нечетко выраженный стадиальный характер.

На месторождении Архарлы (Джунгария) зональность хорошо проявлена на Северо-Восточном участке. Устанавливается закономерное понижение температур начала ДК от 260-340° до 200-240°. В этом же направлении происходит смена предрудных парагенезисов рудными. Аналогичным образом изменяется значение температур главного максимума — от 280° до 240° при средних значениях горизонтальных градиентов 10°/100 м.

Термометрические исследования на жильных месторождениях позволили определить температурные и другие градиенты ДК. Продуктивные жилы четко отличаются от менее рудоносных абсолютными значениями горизонтальных градиентов общей интенсивности и температур начала декрепитации. По величине и знаку горизонтальных градиентов параметров ДК четко выделяются богатые и бедные жилы или их части. Это относится к жилам, занимающим секущее положение по отношению к контакту интрузии. Для жил, располагающихся параллельно контакту, характерны резкие различия вертикальных градиентов, высокая устойчивость в одном направлении векторов — градиентов. Последнее обусловило широкое развитие горизонтальных столбов и, как следствие, незначительные величины горизонтальных градиентов.

Установленные на месторождениях Казахстана закономерности температурной зональности и величины градиентов температур характерны и для месторождений других районов. Ю.В. Ляховым [1968] методом гомогенизации показано, что формирование месторождения Балей происходило при средних температурах. Величина температур градиентов по простиранию жил составляет от 3-4 до 6-7°С на 100 м, а по падению — 19-20° на 100 м. Установлено, что направление суммарного вектора температур совпадает с северо-восточным склонением рудных столбов. Вертикальный градиент температур для начала стадии равен 19-21°/100 м, для конца — 15°/100 м. Максимальные градиенты установлены в интервале — 316-266 м (26°/100 м) в то время как в интервале 266-216 м — 6-8°/100 м. Для золото-серебряных рудопроявлений Чукотки А.А. Сидоров с соавторами дают температуры образования от 110-130° до 180-190° (на глубине), что отвечает вертикальным градиентам порядка 20°/100 м. На месторождениях Капник, Байя, Оанца, Сусанна и др. М. Савул, В. Помырляну и др. [1968] определили температуру продуктивной стадии от 200 до 296° при градиенте 10-15°/100 м до гл. 443 м. На близповерхностных месторождениях Рудных Гор (Теликбанья и др., Румыния) М. Боркош [1969] описывает температурную зональность, где значения вертикального градиента температур составляют 20-25°/100 м. В родохрозитовых жилах с полиметаллическим и золото-серебряным оруденением Японии [Геология и мин. рес..., 1967] температуры образования минералов изменяются от 150-160° (поверхность) до 200° (нижние горизонты), т.е. вертикальные градиенты составляют 30-50° /100 м (до 70°). Температурные градиенты для месторождений средних глубин изучены менее детально. Л.К.Дмитриев и Ю.К. Ляхов [1968] приводят данные по месторождению Дарасун. Температура образования кварца одной генерации существенно меняется в пространстве даже в пределах одной жилы. Так, кварц из пирит-арсенопиритовой ассоциации в жиле Лагуновская на верхних горизонтах имеет 320-280°, на нижних 360-370°, при вертикальном градиенте до 50°/100 м.

Таким образом, наши материалы и данные по месторождениям мира показывают, что температурная зональность устанавливается даже на тех объектах, где другие виды зональности проявлены неотчетливо. Вертикальная зональность характеризуется величинами градиентов в 10-20 °С/100 м, а для близповерхностных месторождений 20-40° (до 70°)/100 м. Исходя из средних значений температур образования минералов продуктивных стадий и величин градиентов, можно с достаточной точностью определить протяженность продуктивной минерализации на глубоких горизонтах месторождений. Относительное постоянство температур образования и градиентов является еще одним свидетельством близости динамики формирования золоторудных месторождений, находящихся в различной геологической обстановке, т.е. существования единых законов эволюции гидротермальных рудообразующих систем.

Минеральная зональность

Наличие вертикальной и горизонтальной зональности в размещении минеральных парагенезисов является замечательной особенностью гидротермальных месторож-

дений, в том числе и золоторудных. Это было отмечено еще на заре развития учения о рудных месторождениях. Обобщение данных по многим рудным районам позволило В. Эммонсу [Emmons, 1937] предложить известную схему околоинтрузивной зональности и "Реконструированную систему жил". В 1940 г. во 2-ом издании Principles of Economic Geology эта схема была дана в следующем виде (сверху вниз).

1. Безрудные жилы (халцедон, кварц, барит, флюорит, немного киновари, антимонита, реальгара).

2. Ртутные (халцедон, киноварь, марказит, барит, флюорит). Месторождения киновари.

3. Сурьмяные. Месторождения стибнита, с глубиной переходящие в галенитовые с сульфоантимонидами свинца и незначительной примесью золота.

4. Золото-серебряные. Бонанцевые золотые и золото-серебряные месторождения (аргентит, антимонит, арсенопирит, теллуриды, селениды, незначительные количества галенита, сфалерита, халькопирита, кварц, адуляр, алунит, кальцит, родохрозит).

5. Безрудные. Нижние части многих третичных жил (кварц, кальцит, пирит, халькопирит, сфалерит и галенит).

6. Серебряные. Аргентитовые жилы со сложными сульфосолями серебра, сурьмы и мышьяка (стибнит, немного арсенопирита, кварц и сидерит).

7. Свинцовые. Жилы галенита с серебром. Количество сфалерита возрастает на глубину, появляется халькопирит.

8. Цинковые. Месторождения сфалерита с галенитом и халькопиритом. Жильные — кварц, кальцит, сидерит, родохрозит.

9. Медные. Жилы тетраэдрита с серебром и халькопиритом. На глубину переходят в халькопиритовые и энаргитовые.

10. Медные. Халькопиритовые жилы с пиритом, пирротином, серебром и золотом. Жильные — кварц, кальцит, ортоклаз, альбит.

11. Золотоносные. Месторождения с пиритом, арсенопиритом, турмалином и теллуридами.

Зоны 10 и 11 могут меняться местами.

12. Мышьяковые. Жилы с арсенопиритом и халькопиритом.

13. Висмутовые (висмутин, самородный висмут, кварц, пирит).

14. Вольфрамовые. Кварцевые жилы с вольфрамитом, шеелитом, арсенопиритом, пирротином, пиритом, халькопиритом. Минералы вольфрама могут присутствовать в зонах 11, 12 и 13.

15. Оловянные. Кварцевые и кварц-полевошпатовые жилы с касситеритом, турмалином и топазом.

16. Безрудные кварцевые, кварц-полевошпатовые и кальцитовые жилы с пиритом.

Нетрудно видеть, что желание создать полную реконструкцию зональности типов жил привело В. Эммонса к противоречивым результатам. Прежде всего, в каждой зоне отмечается своя зональность, которая в принципе зачастую не может быть отличена от перехода между зонами. Во-вторых, объединение в одну систему жил глубинных и близповерхностных месторождений имеет следствием появление двух безрудных зон (5 и 16). Позже В. Линдгрен [1948] писал: "Зональная теория пытается найти определенные закономерности в распределении металлов в рудных месторождениях по отношению и материнской магматической породе. Эти закономерности могут проявляться в горизонтальном, вертикальном или одновременно в двух направлениях. Отложение металла из сложного раствора зависит от многих факторов. К их числу относятся температура, давление, наличие растворителей, концентрация, относительный избыток твердого вещества, реакции в растворе, характер боковой породы и многие другие... Месторождения Корнуолла в Англии, вероятно, служат лучшей иллюстрацией зональной теории. Существует множество противоречивых фактов,

показывающих недостаточную обоснованность зональной теории в ее современной форме".

Попытка усовершенствования "Реконструированной системы жил" В.Эммонса была сделана Г. Шнейдерхеном [1958], который усложнил схему введением понятий "зональная последовательность" (глубинные различия в пространстве) и "последовательность во времени отложения". Схема Г. Шнейдерхена более гибка и находится в меньшем противоречии с наблюдаемыми в природе фактами.

Следует упомянуть общую схему гидротермальной зональности отложения П. и В. Уолкеров. Сверху вниз они выделяли следующие зоны: 1 — экзотермальная (безрудная); 2 — верхняя эпитермальная зона минеральных индикаторов глубинного оруденения (барит, флюорит, доломит, кальцит, сидерит, мангансидерит, анкерит, кварц); 3 — нижняя эпитермальная (галенит, сфалерит, благородные металлы); 4 — мезотермальная (пирит, галенит, сфалерит); 5 — гипотермальная (пирит, халькопирит, молибденит, марматит); 6 — верхняя эндотермальная (магнетит, касситерит, вольфрамит); 7 — нижняя эндотермальная (безрудная).

Дискуссия о соотношении эволюционного и пульсационного развития гидротермальных систем, приводящего к формированию зональности, с новой силой возникла в 1963 году на Пражской конференции по проблемам рудообразования. В результате определилось современное состояние теории зональности, допускающей сочетание эволюционного и революционного развития гидротермальной системы. В "Трудах Симпозиума" [Проблемы постмагматического..., 1963, 1965] приведено большое число таких примеров. Современное состояние вопроса о сочетании стадиальности и зональности наиболее удачно, по нашему мнению, отражено в выступлении Е.А. Радкевич (1965, стр. 238): "... чаще стадии ... развиваются сближенно и з о д н о г о п о т о к а (разрядка наша, В.Н.) растворов, эволюционирующего в пространстве и времени на фоне непрекращающихся тектонических подвижек. Сближенность рудоотложения особенно отчетливо выявляется в рудах коллоидного происхождения, где можно видеть сложные и противоречивые отношения. В одних участках жил различные минеральные ассоциации обособляются в самостоятельные полосы, что создает впечатление о принадлежности к различным стадиям, в других случаях те же минералы образуют тонкую смесь, возникшую из сложного раствора, единовременно выполнявшего трещину. Это дает основание говорить о дифференциации растворов в пределах трещин рудного поля, проявляющуюся в условиях тектонических неоднократных подвижек". Таким образом, эволюция в условиях непрекращающихся тектонических подвижек может создать и создает сложную картину минеральной зональности. При этом основная тенденция системы к направленному развитию проявляется с различной степенью четкости, давая простую или сложную картину зональности.

Ниже на примере ряда золоторудных и других сульфидсодержащих (и сульфидных) месторождений мы попытаемся показать, что существует единая схема формирования минеральной зональности, в конкретных обстановках выраженная с некоторыми вариациями.

Близповерхностные золоторудные месторождения

Литература по зональности золоторудных близповерхностных месторождений достаточно обширна, и мы приведем примеры наиболее детально изученных объектов.

Детально изучена и наиболее полно описана зональность месторождения Балей [Хомич и Чеглоков, 1965]. Изменение качественных особенностей оруденения выражается здесь в следующем:

1. Снижается количественная роль адуляра и гипогенного каолинита в рудах на глубину.

2. Изменяются состав и степень концентрации сульфидов: на глубоких горизонтах преобладают пирит и марказит; реже встречаются сульфосоли сурьмы, серебра и мышьяка; уменьшается концентрация сульфидов в рудах.

3. Снижается (в ряде участков) количественная роль продуктивных ассоциаций, что сопровождается падением содержаний золота. Выклиниваются мелкие рудные столбы и уменьшается их общее число.

4. Изменяются текстурные и структурные особенности руд: уменьшается роль кремневидных разностей кварца колломорфно-полосчатой и фестончатой текстуры, снижается роль шестоватых и гребенчатых кварцев.

В целом для рудного поля характерна смена оруденения золото-редкометально-турмалин-кварцевой зоны на золото-сульфидно-полиметаллически-кварцевую и золото-серебро-сурьмяно-кальцит-кварцевую в полосе меридионального простирания. Вертикальная зональность в жилах Первой рудной зоны такова (сверху вниз):

1) верхняя убогозолотоносная зона с низкими содержаниями серебра, меди, мышьяка, свинца и незначительным преобладанием серебра над золотом;

2) продуктивная (зона рудных столбов) — высокие содержания меди, серебра и золота с преобладанием последнего над серебром;

3) нижняя — с бедным содержанием золота, преобладанием над ним серебра, повышенными содержаниями мышьяка, свинца и пониженными (по сравнению со второй) — серебра и меди. Эта геохимическая зональность отражает зональность распределения минеральных ассоциаций четырех стадий: раннего халцедоновидного кварца, золото-сульфоантимонит-карбонат-кварцевой (продуктивной), сульфидно-кварцевой и антимонит-кварцевой.

А.А. Сидоров [1973] для золото-серебряных районов северо-востока Азии описал вертикальную зональность, где снизу вверх незолотоносные кварц-полиметаллические жилы сменяются зоной отложения из коллоидных растворов: золото-серебро-кварцевые жилы с арсенопиритом, пиритом, антимонитом, сфалеритом, галенитом, сульфосолями серебра → адуляр-кварцевые жилы с золотом, сульфосолями серебра → золото-кварц-адуляровые с аргентитом → кварц-антимонит-киноварные руды без золота и серебра. Для золото-серебряных месторождений северо-восточной части Охотско-Чукотского вулканогенного пояса повторяется следующая схема вертикальной зональности минеральных типов (сверху вниз): золото-аргентитовый → золото-пираргиритовый → золото-галенит-халькопиритовый → золото-пирит-арсенопиритовый.

Для Береговского золото-полиметаллического месторождения (Закарпатье) Г.И. Князев [1963] зональность представил следующим образом (снизу вверх): полиметаллические руды с преобладанием марматита и низкими содержаниями золота и серебра → сфалерит-галенитовые руды с серебром и золотом → барит-полиметаллические руды с колломорфным пиритом, мельниковит-пиритом (верхняя граница полиметаллического оруденения на глубине 100-200 м от современной поверхности) → зона алунитов с золото-серебряной минерализацией. В верхней части над полиметаллическими рудами развита киноварная минерализация с малыми содержаниями золота, серебра и полиметаллов.

Ярко выражена вертикальная зональность на месторождении Байя-Сприе. Д. Гушка, В. Манилич и В. Степол [1964] и Ю.Г. Щербаков [1967] выделяют следующие зоны (сверху вниз).

Интервал 10-100 м. Резкое обогащение золотом и серебром. Кварц-барит-родохрозитовые жилы со сложнейшим комплексом минералов: золото, серебро, киноварь, метастибнит, реальгар, аурипигмент, антимонит, плюмазит, семсеит, цинкит, галенит с серебром, клейофан, тетраэдрит, миаргирит, фрейслебенит, андорит, диафторит, прустит, фюллонит, пираргирит, бертьерит, полибазит, бурнонит.

Интервал 100-400 м. Содержание золота и серебра быстро падает, исчезают минералы серебра, уменьшается количество антимонита, киновари, реальгара и возрастает роль галенита и сфалерита. Стибнит, тетраэдрит и бурнонит сохраняются в верхней части этой зоны, в нижней ее части появляется халькопирит.

Интервал 400-500 м. Основное значение приобретают галенит и сфалерит, возрастает роль халькопирита и пирита.

Глубина более 500 м. Галенит быстро исчезает, сфалерит становится железистым (марматит), ведущую роль приобретают халькопирит и пирит, появляются арсенопирит, пирротин, шеелит, молибденит и гематит. Основными жильными минералами являются кварц и доломит.

В. Эммонс [Emmons, 1937] и А. Бетман [1949] описали зональность месторождения Кемп Берд (Колорадо). Здесь в кварц-родохрозитовых жилах с кальцитом, адуляром, сфалеритом, золотом и серебристым галенитом установлена смена состава руд (сверху вниз): 0-30 м — кварц-галенит-серебряные руды с халькопиритом, сфалеритом, адуляром и золотом; 30-100 м — кварц-галенит-сфалеритовые руды с халькопиритом, родонитом и золотом; 100-300 м — кварц-халькопиритовые со спекуляритом руды с низкими содержаниями серебра и золота; более 300 м — кварц-пиритовые руды с матильдитом.

В. Бербанк [Burbank, 1941] для серебряных и золото-серебряных месторождений Ред Маунтин и Янки Герл (район Теллурайд, Колорадо) дал следующую схему вертикальной зональности. Галенитовые руды с содержанием свинца 40-60% и серебра 800-1200 г/т продолжаются на 2-ой горизонт и постепенно исчезают ниже 5-го горизонта (> 120 м). С глубиной штромейерит становится характерным для богатых руд и ассоциирует с пиритом и халькопиритом. Ниже 7-го горизонта (> 200 м) количество штромейерита резко уменьшается, и на 10-ом горизонте руды сложены массивным пиритом с борнитом и халькопиритом при низких содержаниях серебра. Здесь наибольшее количество руд несет свободное золото с максимальными содержаниями 750 г/т. Таким образом, серебро-свинцовые руды верхних горизонтов сменяются золото-медными.

В. Эммонс [Emmons, 1937] описал зональность ряда золотых и золото- серебряных месторождений Ю.Америки. На месторождениях Пачука и Реаль-дель-Монте системы мощных жил (Ла Висканья, Эль Кристо, Сан Хуан Аналько и Санта Гертрудас) протяженностью 4-16 км содержат богатые рудные столбы. На верхних горизонтах руды представлены кварцем, кальцитом, адуляром, баритом, редко аметистом с галенитом, сфалеритом, пиритом, полибазитом, стефанитом, серебром и золотом. С глубиной содержание минералов серебра падает и возрастает роль сфалерита и галенита. Для месторождения Гуанко зональность выражается в смене на глубине более 300 м медных руд (энаргит, люцонит, пирит, халькопирит, халькозин, золото — 15-20 г/т) медно-пиритовыми с низкими содержаниями золота. Месторождение Сальпо характеризуется сменой на глубину медно-золото-серебряных руд (галенит, тетраэдрит, халькопирит, медь — 15%, золото — 40-50 г/т, серебро — 100 г/т) на кварц-родонит-пиритовые с халькопиритом (золото 20 г/т, серебро < 10 г/т).

У. Петерсен [Petersen, 1965] охарактеризовал зональность месторождения Визо-Арури (Ц.Перу). Здесь родохрозитовые жилы с арсенопиритом, самородным серебром, антимонитом и содержанием золота 30 г/т сменяются по падению карбонат-кварц-галенит-тетраэдритовыми (с содержанием в галените 2000-7000 г/т серебра), а затем кварц-халькопирит-сфалеритовыми. В самых нижних частях месторождения установлен магнетит. Пирит распространен повсеместно.

Интересны и в общем аналогичны примеры вертикальной зональности золотых, золото-серебряных и золото-медных месторождений Японии [Emmons, 1937]. На месторождении Вашинозу золото-кварцевый штокверк с глубины 100-150 м переходит в халькопирит-кварцевый. На глубине 250 м последний сменяется жилами кварц-

халькопиритового состава. В миоценовых месторождениях провинции Китаками — Кономай, Титоси, Тейке и других кварцевые жилы с кальцитом, адуляром, золотом, серебром, аргентитом, сульфосолями серебра, иногда антимонитом на глубину переходят в кварц-галенит-сфалеритовые, кварц-сфалерит-халькопиритовые с пирротином и кварц- галенит-халькопиритовые. В самых верхних частях месторождения Китаками развито киноварное оруденение. На месторождении Цугу кварцевые жилы с золотом, антимонитом, сульфосолями серебра вниз по падению переходят в кварц-полиметаллические (галенит, сфалерит, халькопирит), а по восстанию — в антимонит-кварцевые. Аналогична зональность на месторождении Микава, где снизу вверх выделены зоны кварц-хлорит-пирит-халькопиритовая → кварц-карбонат-золото-серебряная (золото, аргентит, полибазит). Для месторождения Исобе Коима схема зональности такова (снизу вверх): халькопиритовая зона (золота менее 2 г/т) → сфалерит-халькопиритовая → сфалеритовая → галенит-сфалеритовая → кварц-карбонат-галенитовая с золотом (содержание его до 1000 г/т).

К. Коллоу и Б. Ворли [Callow and Worley, 1965] дали описание месторождения Акупан (Филиппины), представленного сериями кварц-карбонатных жил в штоках кварцевых диоритов, прорывающих туфы нижнего миоцена. Жилы сложены кварцем, кальцитом, ангидритом, гипсом, родохрозитом, баритом и родонитом. Минерализация имеет очень сложный состав (пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, тетраэдрит, гематит и золото). В верхних частях жил зоны №96 развиты антимонит, киноварь, серебро, пираргирит, прустит и борнит. Установлен тесный парагенезис фаматинита — теллуридов (гессит, калаверит). На глубине здесь много марказита и арсенопирита. Зональность до глубины 600 м выражена нечетко.

По данным В. Эммонса [Emmons, 1937], уникально богатые бонанцы были отработаны на месторождениях рудного поля Тэмес (Новая Зеландия). Здесь жилы кварц-кальцит (анкерит, родохрозит) — родонит-баритового состава с электрумом, гесситом и пруститом на глубине переходят в кварц-карбонат-родонитовые с золотом, тетраэдритом и арсенопиритом. Жилы залегают в поперечной отдельности лавового потока андезитов (типа лестничных) и, выходя за его пределы, выклиниваются. Наиболее богатые руды (бонанцы и столбы) отмечены в верхней части жил (на 60-80 м ниже уровня моря). Содержание золота в бонанцах достигало 6, 10, 25 и даже 45% (по весу).

А. Бетман [1949] привел описание зональности золото-сурьмяного месторождения Баббит в районе Йеллоу Пайн (США). Здесь кварцевые жилы мощностью до 6 и длиной до 1200 м содержат антимонит, золото, киноварь, галенит, сфалерит и халькопирит. До глубины 180 м установлена следующая зональность (сверху вниз): антимонит, киноварь, золото → сфалерит, галенит, золото → сфалерит, халькопирит без золота.

Автором изучена зональность ряда близповерхностных месторождений Казахстана.

Месторождение Архарлы. Месторождение расположено в пермской вулкано-тектонической структуре центрального типа. Наиболее ярко минеральная зональность и другие ее виды проявлены на Северо-Восточном участке, где концентрируются основные запасы богатых руд. Здесь развита серия кулисорасположенных жил, залегающих в экзоконтакте субвулканического тела трахиандезитов в пропилитизированных туфах андезитовых порфиритов пермского возраста. Контакт трахиандезитов полого погружается к юго-востоку. В этом же направлении устанавливается склонение описанных ниже минеральных зон и рудных столбов.

Схема зональности оруденения на Северо-Восточном участке такова (снизу вверх):

1. Зона серого кварца с пиритом — до 150 м.

2. Зона темно-серого кварца с галенитом, сфалеритом, сульфидами серебра и золотом — 200 м.

3. Зона серого и белого друзовидного кварца, аметиста с широким развитием колломорфных текстур и пустот. Минерализация представлена пиритом, галенитом и золотом — 150 м.

4. Зона кавернозного темно-серого кварца, аметиста, кальцита и адуляра с очень богатым золотом и серебряным оруденением — 10-12 м.

5. Зона белого и серого халцедоновидного кварца и кальцита с серебром и небольшим количеством золота — 50 м.

6. Зона кальцита и халцедона — 75-100 м.

Благодаря склонению выделенных зон в соответствии с падением контакта субвулканической интрузии к юго-востоку, на современном эрозионном срезе отмечается смена глубинных частей верхними по простиранию, т.е. четкое проявление горизонтальной зональности по мере удаления от контакта с интрузией.

Месторождение Ю. Кудер представлено сериями кварцевых, кварц-адуляровых жил и зон окварцевания различных направлений в зонах дробления среди андезито-дацитовых порфиритов, туфов андезитового и липаритового состава каменноугольного возраста. Минеральная зональность проявлена слабо. В целом для рудного поля характерно трехчленное строение колонны зональности. Наиболее глубокие ее части представлены рудными зонами № 5, 6, 8, для которых характерно развитие ассоциаций предрудной и начала рудной стадий, представленных пиритом I и II, молибденитом, висмутином и золотом I. Центральная продуктивная часть колонны (рудные зоны № 1, 2 и 9) сложена минералами продуктивной ассоциации — пиритом III, халькопиритом, сфалеритом, галенитом, блеклой рудой и золотом II. Для верхней части колонны (периферия поля) характерно развитие ассоциаций поздней стадии — пирит IV, блеклые руды. Горизонтальная зональность выражена размещением продуктивных ассоциаций в виде концентрической зоны вокруг интрузивного штока порфиров, залегающего в центральной части рудного поля.

На *месторождении Кварцитовые Горки* ярко выраженной зональностью оруденения обладают брекчиевые рудные столбы Первой Кварцитовой Горки, морфологически выделяющиеся на фоне равномерно минерализованной массы. В горизонтальном сечении брекчиевых труб может быть выделено две зоны. Периферическая представлена дроблеными, сильно измененными породами с почти полностью нарушенной слоистостью. Разрыхленная и передробленная масса сцементирована серым кварцем с небольшой примесью белого или слегка розоватого кальцита, гнездами и прожилками среднезернистых и тонкозернистых золотоносных сульфидов (пирита, арсенопирита, блеклых руд). Мощность ее достигает местами первых метров, содержание золота примерно в три раза выше, чем в окружающих рядовых рудах. Золото находится в тесной ассоциации с тонкозернистым пиритом и арсенопиритом, в микроскопических сростках с кварцем. Центральная интенсивно брекчированная зона сложена грубоокатанными обломками разнообразного состава. Сцементированы они темно-серой, передробленной массой тех же пород с включением большого количества тонкозернистых золотоносных сульфидов (пирит, арсенопирит), кварца, хлорита, графита и кальцита. Мощность центральной зоны рудных столбов до 3-4 метров. Содержание золота в несколько раз превышает его концентрации за пределами области брекчирования.

Вертикальная зональность брекчиевых столбов имеет иной характер. Корневая часть каждого столба представлена милонитами, пронизанными густой сетью тонких прожилков белого кальцита и содержащих тонкую рассеянную вкрапленность золотоносного пирита. Средняя наиболее протяженная часть столбов представлена рудной брекчией с описанной выше горизонтальной зональностью. В ней заметно увеличивается количество цементирующего кварца, появляется среднезернистый пирит, а кон-

центрация кальцита падает. Верхняя фронтальная часть построена наиболее сложно. Она сложена кварц-сульфидным материалом мелкобрекчиевой, местами полосчатой текстуры. Нижняя половина представлена густовкрапленными (до сплошных) рудами, состоящими из среднезернистого и тонкозернистого пирита, арсенопирита, антимонита, блеклых руд, реальгара. Крупные, часто давленные кристаллы пирита имеют зональное строение. Агрегаты пирита сложены в линейно-вытянутые "струи", ориентированные по восстанию рудного столба, что придаст рудам полосчатый облик. Самая верхняя часть столбов сложена серым кварцем с незначительной вкрапленностью пирита и арсенопирита. Кварц участками сохранил колломорфную текстуру. Границы тел верхней части столбов с брекчированными рудами резкие. Форма их — жилообразная, седловидная. Содержание золота чисто кварцевой части зоны убогое, в то время как в обогащенной сульфидами (особенно тонкозернистым пиритом) — самые высокие для брекчиевых тел. Указанной зональности подчиняется распределение содержаний и запасов металла в рудном столбе (рис. 11).

Месторождения средних и больших глубин образования

Смена минеральных парагенезисов с глубиной, описанная выше (сереброполиметаллы-медь), выдерживается и для месторождений средних глубин.

Существует огромная описательная литература по месторождениям различных провинций мира, часть данных которой обобщены в монографиях В. Эммонса, Г.Ф. Парка мл., Н.В. Петровской, В.А. Нарсеева, трудах Пражского Симпозиума МАГРМ, В.И. Смирнова, Г. Шнейдерхена и др. Данные по зональности месторождений Нежданинское, Талалах, Зун Холба, Берикуль, Жилов, Холнор, Чартерс Тауэрс, Аляска Джюно, Томши, Сан Кристобаль, Челопеч, Ильба Хиндал, Азурит, Дайра, Идо, Нишизава, Огито, Ичиго, Карийское, Злата Баня, Сан Андреас, Дарасун, Коммунар, Советское, Наталкинское, Сарылах, Кумтор, Мурунтау, Кочкарь, Степняк, Джетыгара, Бестюбе, Жолымбет и многие другие дают картину устойчивой минеральной зональности — смены сверху вниз сурьмяных, сурьмяно-серебряно-свинцовых парагенезисов медными.

Детально изученные автором месторождения Казахстана дают также яркие примеры минеральной зональности.

Бакырчикское рудное поле включает ряд месторождений и рудопроявлений. Оно представлено серией линзовидных лентообразных залежей вкрапленных сульфидных руд в углисто-глинистых породах карбона. Вопросы литологии, минералогии и геохимии пород и руд изучались многими исследователями, из которых — В.С. Шибко, В.А. Нарсеев, В.И. Зенкова, П.И. Полторыхин, Н.И. Бородаевский, В.Н. Яновский, Г.Б. Левин, М.М. Старова, М.С. Рафаилович представили наиболее значительные по объему и содержанию материалы. Зональность в рудном поле и на месторождениях выражена сложно (рис. 12). Соотношение в рудах главных золотоносных сульфидов — пирита и арсенопирита изменяется с востока на запад от 1:2,5 до обратного. Сульфиды полиметаллов (галенит, сфалерит, блеклые руды) более развиты на западном фланге рудного поля, где они ассоциируют с пиритом поздних генераций. На восточном же фланге наиболее частым является халькопирит, эмульсионные структуры распада халькопирита в сфалерите развиты максимально. Образования кварц-антимонитовой стадии на месторождениях восточного фланга зоны представлены слабо или отсутствуют. Содержание золота в сульфидах снижается к западному флангу рудного поля. В этом же направлении изменяется габитус кристаллов арсенопирита — от игольчатого и пикообразного до призматического и короткопризматического. Для пиритов на западном фланге характерно преобладание гексаэдрических и комбинационных форм. По простиранию рудной зоны с востока на запад закономерно меняется состав цемента оруденелых пород: гематитовый, актинолит-хлоритовый, хлоритовый

→ хлорит-актинолитовый → карбонатный → карбонатно-серицитовый → тремолит-актинолитовый → актинолит-гематитовый.

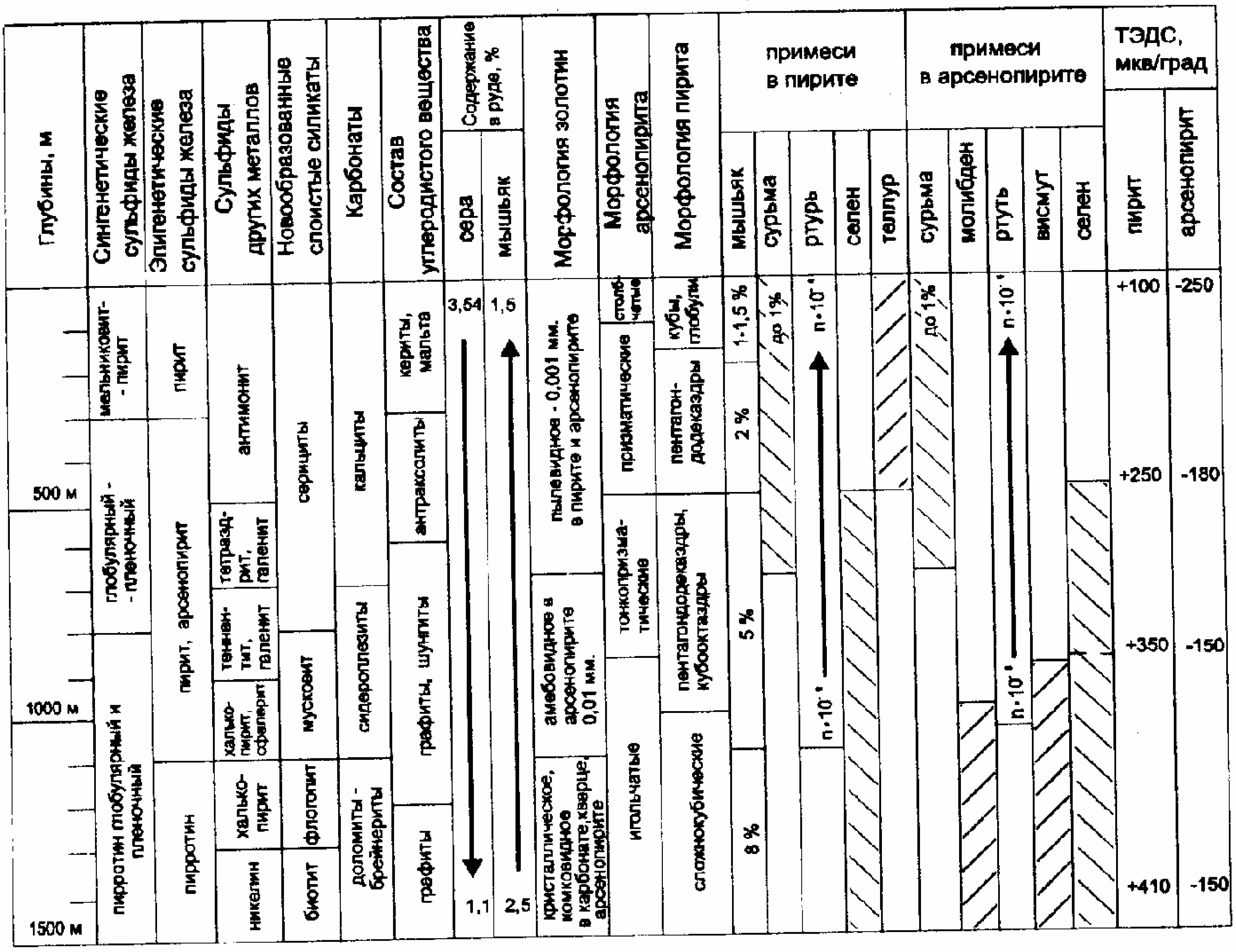


Рис. 12. Схема минералого-геохимической зональности месторождения Бакырчикского рудного поля.

Вертикальная зональность проявлена фрагментарно. В нижних частях рудных тел по сравнению с верхними заметно меняется соотношение количеств пирита и арсенопирита от 1:3 до 3,5:5. Количество минералов поздних стадий возрастает снизу вверх. В этом же направлении отчетливо возрастает количество и зернистость кварца. Теннантит верхних горизонтов сменяется ассоциацией пирротин-халькопирит — на нижних, в этом же направлении возрастает золотоносность сульфидов и уменьшается их зернистость. В центральных частях рудных тел нижних горизонтов развит тонкозернистый пирит (пентагондодекаэдры), а в верхних горизонтах — среднекрупнозернистые пентагондодекаэдры и кубы. Сверху вниз меняется состав карбонатов — от кальцита и сидерита через сидероплезит до доломита. Таким образом, минеральная зональность рудного поля и отдельных его месторождений во многом идентичны. Она отражается в зональности геохимической (рис. 13).

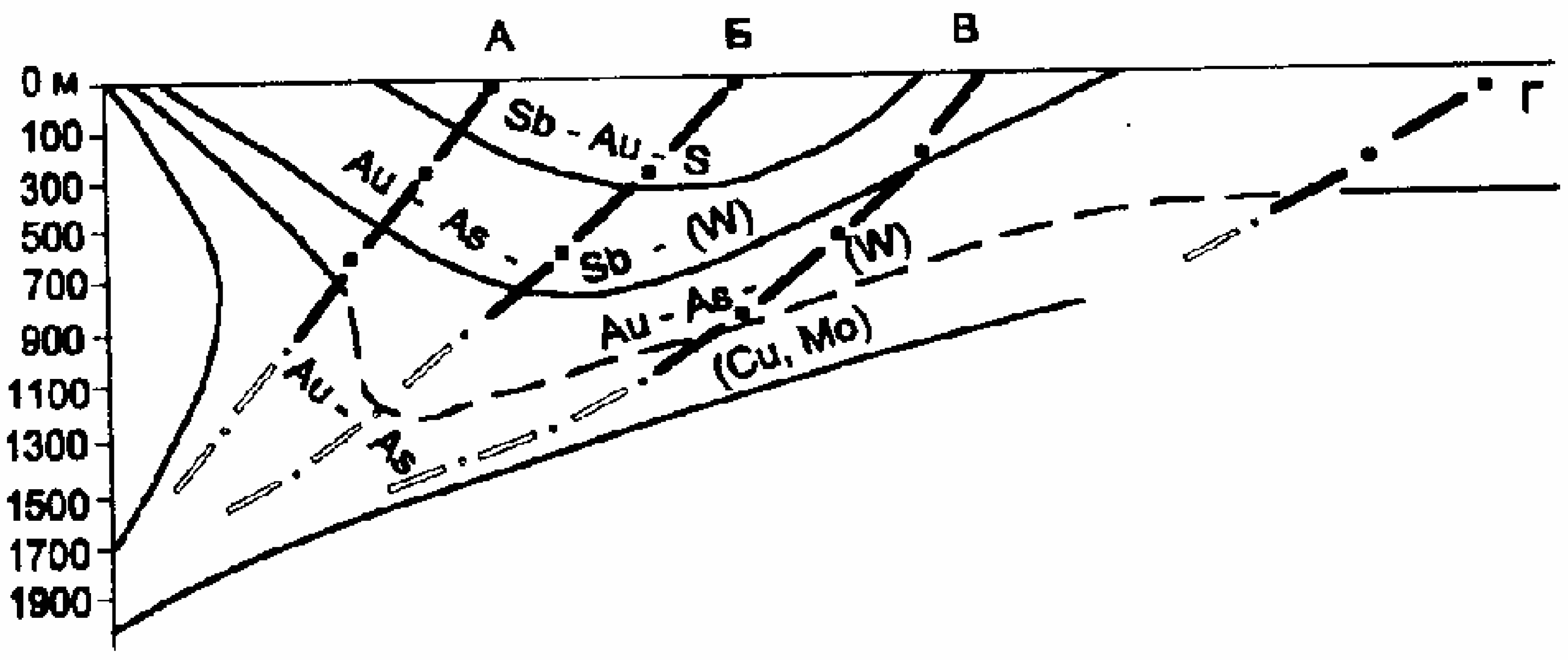


Рис 13. Схема геохимической зональности Кызыловской зоны (в плоскости среднего падения) (по М.С. Рафаиловичу и др.).

Месторождения: А - Большевик, Б - Бакырчик, В - Промежуточное, Г - Глубокий Лог.

Месторождение Акжал (по Г.Б. Левину) представлено серией кварцевых и кварц-карбонатных жил в вулканогенно-осадочной толще нижнего карбона, залегающих в экзоконтакте массива диоритов кунушского комплекса. Установлена четкая горизонтальная зональность относительно этого массива (рис. 14). В зоне контактовых роговиков шириной до 100-150 м залегают кварц-арсенопиритовые жилы с низкими содержаниями золота. Далее в направлении от контакта развита зона продуктивных карбонатно-кварцевых жил с сульфидами полиметаллов и блеклыми рудами. Ширина ее на поверхности достигает 200 м. Внешняя зона заключает кварц-карбонатные и карбонатные непродуктивные жилы с редким галенитом и пиритом. Вертикальная зональность на месторождении выражена слабо [Нарсеев, 1968 а]. Геометризация данных эксплуатации показывает, что вертикальный размах перечисленных зон определяется в среднем в 100-150 м. В отдельных жилах, относящихся к той или иной зоне, выражена вертикальная зональность. В жилах приконтактовой полосы на глубину уменьшается содержание арсенопирита. В полиметаллической зоне в жилах на глубину возрастает содержание халькопирита и пирита, а к поверхности — галенита и блеклых руд. Состав карбонатов в жилах полиметаллической и внешней зон эволюционирует от сидерита-доломита до кальцита. Общий вертикальный размах минерализации на месторождении не превышает 500-600 м, из них продуктивны на золото 200 м.

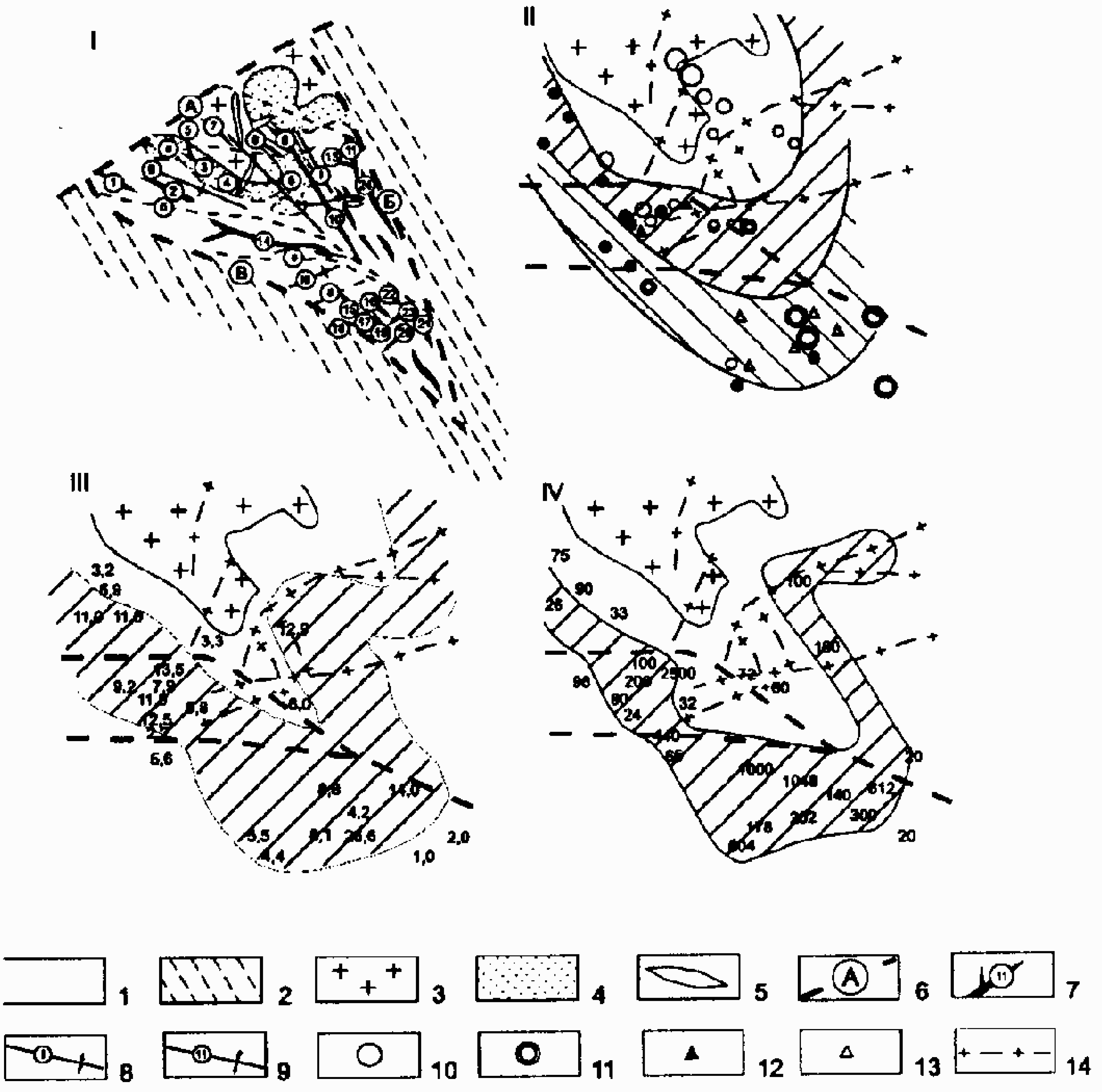


Рис. 14. Схема зональности месторождения Акжал (по Г.Б. Левину и В.А. Нарсееву).

1 - терригенные породы; 2 - вулканиты; 3 - гранодиориты-диориты; 4 - роговики; 5 - дайки гранит-порфиров; 6 - разломы, ограничивающие рудное поле; 7 - кварцеворудные жилы и их номер; 8, 9 - оси антиклиналей и синклиналей; 10 - арсенопирит; 11 - сульфиды полиметаллов; 12 - блеклые руды; 13 - карбонаты; 14 - дайки диоритовых порфиритов. I - геолого-структурная схема, а, б, в - границы блоков; II - схема размещения минеральных зон (от интрузива к периферии): кварц-арсенопиритовая, кварц-полисульфидная, кварц-карбонат-полиметаллическая); III - положение зоны промышленных тел (заштриховано). Цифры - средние содержания золота по жилам; IV - положение зоны богатых рудных столбов (заштриховано). Цифры - содержания золота в столбах (г/т).

Кулуджунское рудное поле представлено сериями кварцевых жил (Ретивая, Нагорная, Колчеданная, Владимировская, Варяг и др.) в песчано-сланцевых отложениях карбона, залегающих вне видимой связи с интрузиями. Зональность изучалась нами в

1965-1968 годах и А.М. Мысником в 1970 году. Установлена следующая зональность (табл. 42) отдельных рудных тел или их групп (снизу вверх).

Таблица 42

Схема зональности минеральных ассоциаций на Кулуджунском рудном поле

Зона	Ассоциация	Вертикальный диапазон, м
Золото-пирит-кварц-карбонатная	золото-пирит (марказит)	100
Золото-сурьмяная	золото-креннерит-антимонит-джемсонит-энаргит	50-100
Золото-полисульфидная	золото-блеклые руды-бурнонит-буланжерит-тенорит-бертьерит	100-150
Золото-сульфидно-полиметаллическая	золото-пирит-арсенопирит-галенит-халькопирит-сфалерит	200-300
Золото-сульфидная с магнетитом	магнетит-пирротин	100-150
Золото сульфидная (колчеданная), часто отсутствует	золото-пирит-арсенопирит	200

Указанная схема подчеркивается целым рядом признаков [Нарсеев, 1968 а]. Так, на нижних горизонтах кварц имеет крупнозернистую структуру, которая вверх сменяется мелкозернистой и тонкозернистой. Состав жильных карбонатов меняется снизу вверх от сидерита через анкерит до кальцита. Зональность подчеркивается изменением минеральных форм нахождения некоторых рудных элементов (табл. 43).

Таблица 43

Изменение минеральных форм нахождения рудных элементов

Элемент	Зона		
	Нижняя	Средняя	Верхняя
Ртуть	Пирит	Блеклая руда	Киноварь
Свинец	Галенит	Буланжерит	Джемсонит
Медь	Халькопирит	Блеклые руды	Бурнонит
Сурьма	Бертьерит	Антимонит	Самородная сурьма
Мышьяк	Арсенопирит	Теннантит	Энаргит
Золото	Пирит, арсенопирит	Свободное и в сульфидах	Свободное

Изучение закономерностей пространственного размещения различных минеральных ассоциаций позволило нам установить горизонтальную и вертикальную зональность как отдельных рудных тел, так и рудного поля в целом. Золото-сурьмяная зона в системе жил Варяг-Ретивый не установлена. Она отчетливо проявлена в юго-западной части поля (участок жилы Сомнительной и Колчеданной).

Описанная выше зональность фрагментарно проявлена и на других рудных полях Калбы (Лайлинское рудное поле в системе жил Гениальная и др.).

Аксуйское рудное поле представлено кварцевыми, кварц-карбонатными жилами и минерализованными зонами, образующими локальные жильные узлы внутри и по периферии Аксуйского штока диоритов. Выделяется три типа жил: пологие в трещинах прототектоники (1 тип), крутопадающие в сколовых внутриблоковых трещинах (II тип) и крутопадающие в межблоковых зонах (III тип). Зональность рудного поля выражается в увеличении распространенности галенита, сфалерита, блеклых руд в

жилах в направлении к экзоконтакту Аксуйского штока от центра. В этом же направлении уменьшается крупность золота в рудах и возрастает доля связанного с сульфидами металла. Еще более отчетлива зональность рудных тел. Пологопадающие жилы (1 тип) являются наиболее богатыми, причем максимальная концентрация золота наблюдается в самых верхних жилах обособленных "свит". Центральная часть жил сложена кварцем с вкрапленностью свободного золота. Золотоносный пирит здесь присутствует в незначительных количествах, в направлении выклинивания жилы количество его возрастает, а кварц вытесняется белым или серовато-белым кальцитом. Кварц-карбонатная зона постепенно сменяется периферийной, преимущественно кальцитовой слабосульфидной незолотоносной.

Рудные тела второго типа имеют кварц-кальцитовый состав (с преобладанием кварца) с рассеянной вкрапленностью пирита и других сульфидов. По падению в них выделяется три зоны (сверху вниз): кварцевая, кварц-карбонатная и карбонатная. Наиболее золотоносна первая. Минеральная зональность по мощности четко выражена во второй, слабее в первой вертикальных зонах. В первой зальбанды жил сложены плотным кварцем, несущим вкрапленность свободного золота. Размеры выделений его уменьшаются от контакта к осевой части. Последняя сложена преимущественно грубозернистым кварцем и пиритом. Вторая вертикальная зона характеризуется более сложной горизонтальной зональностью. Здесь в осевой части жилы, наряду с золотоносным пиритом, появляется кальцит, количество которого прогрессивно увеличивается в направлении падения. Свободное золото обнаруживается также лишь среди кварца.

Рудные тела третьего типа имеют аналогичную зональность. Сверху вниз выделяются: золото-кварцевая, золото-кварцево-пиритовая, кварц-пирит-карбонатная и карбонат-пиритовая зоны. Среднезернистый золотоносный пирит в жилах третьего типа играет существенную роль во всех зонах. В среднем он занимает около 30% объема рудной массы, достигая иногда в глубинных частях 60-65%. Содержания золота находятся в прямой зависимости от концентрации пирита. Исключение составляют верхние части жилы, где отлагалось самородное золото, а процент сульфидов в общей массе невелик. В отличие от жил второго типа у описываемых рудных тел глубинная часть имеет большое пространственное развитие и не теряет своей продуктивности до выклинивания.

Месторождение Бестюбе (по П.И. Шумихину, К.Т. Тлеубергенову, Г.Б. Левину, Э.М. Спиридонову, И.А. Бакшееву и нашим данным) представлено сериями кварцевых жил, залегающих в экзо-эндоконтактовых частях штоков диоритов в песчано-сланцевой толще ордовика. Оруденение обладает значительным вертикальным размахом и вследствие этого неконтрастно выраженной и слабо изученной минеральной зональностью. Продуктивная стадия на месторождении представлена кварцем II, сфалеритом-клейофаном, галенитом, арсенопиритом, пиритом II, блеклыми рудами, в очень незначительных количествах присутствуют халькопирит, молибденит, шеелит, алтаит, бурнонит, буланжерит. Вертикальная МЗ выражается в более широком развитии на верхних горизонтах минерализации третьей кварц-карбонат-антимонитовой стадии (с бертьеритом, самородной сурьмой) для продуктивной стадии характерно преобладание медового сфалерита, блеклых руд, галенита над всеми другими сульфидами. Эта ассоциация развита до больших глубин.

Зональность *Васильковского* крупного штокверкового месторождения проявлена неконтрастно. В пределах Основной зоны установлена приуроченность столба богатых руд к контакту гранодиоритов и габбро-диоритов, в области изменения простирания грани — изолонги 400-500 м (рис. 15). При этом продуктивная пирит-арсенопирит-бурнонит-теллуридная ассоциация образует локальный в поперечном сечении столб большой протяженности по склонению. Геохимическая зональность и распределение ряда параметров минерализации приведены на рис. 16.

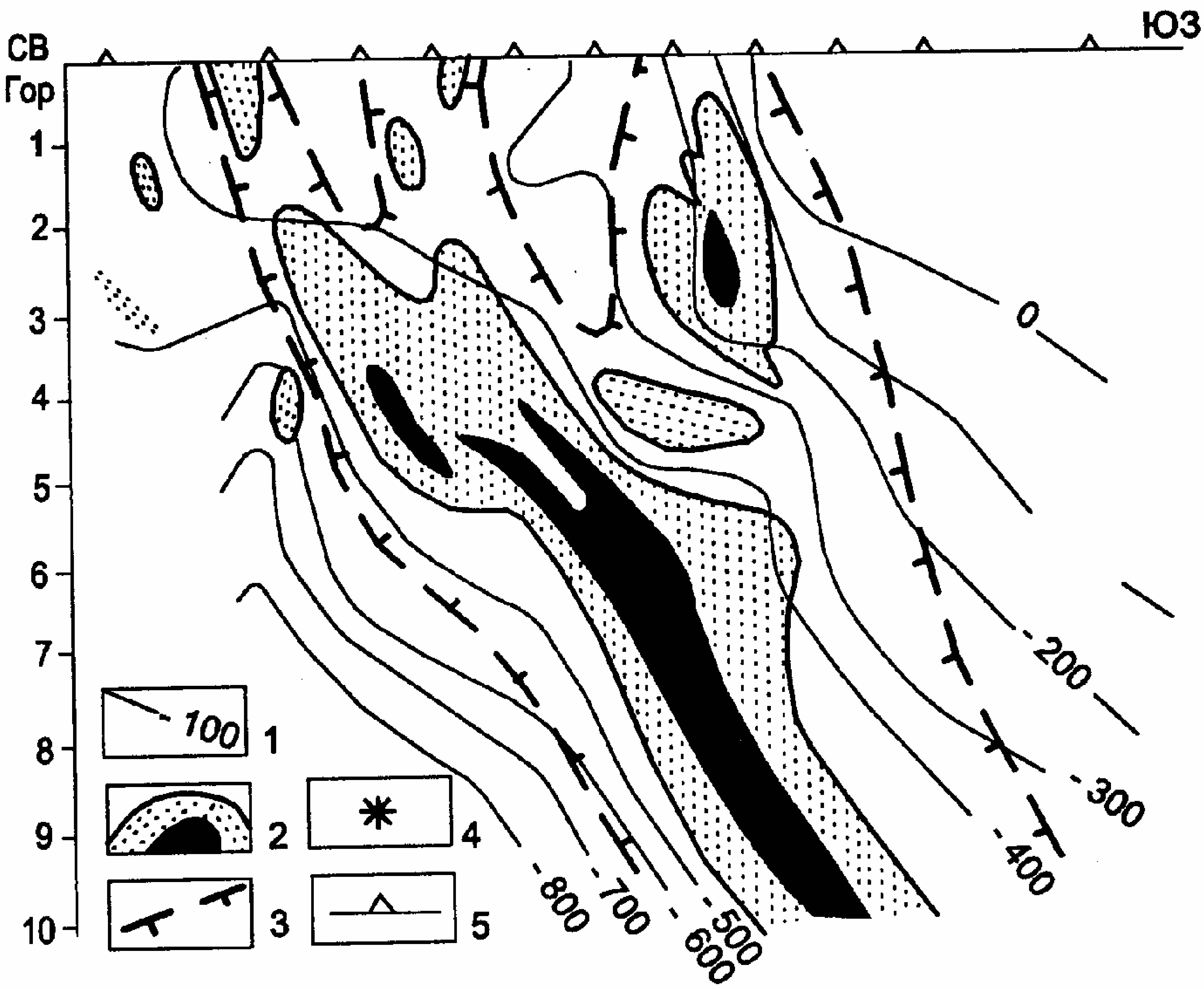


Рис 15. Элементы структурного контроля и зональности Васильковского штокверкового месторождения (Сев. Казахстан).

1 - изолонги рудоконтролирующей поверхности контакта гранодиоритов и габбро-диоритов; 2 - рудное тело: а - рядовые руды, б - богатые руды; 3 - границы области максимальных значений разности температур конца и начала декрепитации; 4 - проявления золото-теллуридной ассоциации; 5 - разведочные линии скважин колонкового бурения.

Месторождение Баладжал (по Левину Г.Б. и материалам комбината "Алтайзолото") представлено серией кварцевых и кварц-карбонатных жил северо-восточного простирания, залегающих в штоке диоритов кунушского комплекса и его экзоконтакте. Размещение продуктивных участков жил четко контролируется положением контактов штока (рис. 17). Наиболее золотоносные жилы (Параллельная и др.) сложены карбонатно-кварцевым материалом с ассоциацией сульфидов полиметаллов. На глубину и к центру штока эта ассоциация сменяется ранней кварц-пиритовой, что сопровождается снижением продуктивности жил. Периферия рудного поля характеризуется развитием незолотоносных карбонатных жил и прожилков. В колонке зональности вертикальный размах нижней непродуктивной зоны составляет 100-120 м, продуктивной — 150-200 м, верхней карбонатной — 100 м.

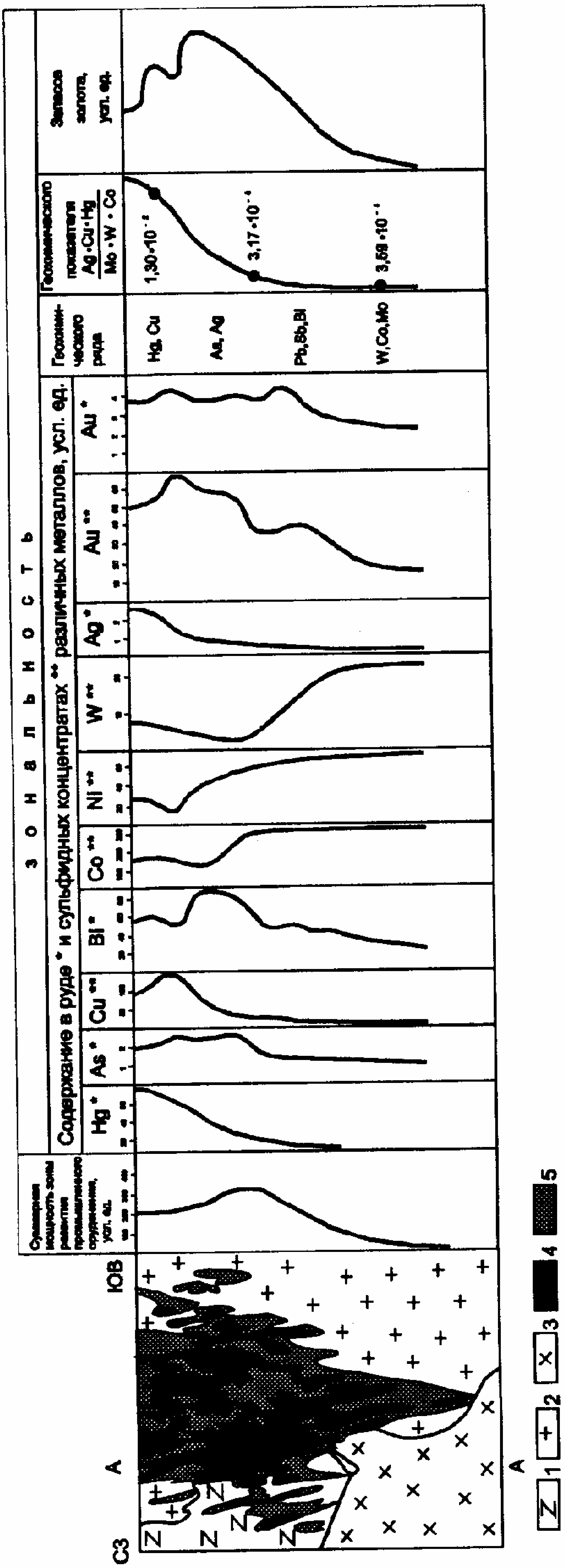


Рис. 16. Схема вертикальной зональности Васильковского штокверка (Сев. Казахстан) до глубины 1000 м (по И.Т. Самарцеву).

1 - гибридные породы; 2 - гранодиориты; 3 - кварцевые диориты, габбро-диориты; 4 - балансовые руды; 5 - забалансовые руды.

Для крупных и уникальных плутоногенных полиформационных и полистадийных месторождений мира зональность выражена слабо. Рассмотрим некоторые характерные примеры. В жильной системе *Мазер Лод* длиной 192 км и шириной 1,6 км располагалось более 40 рудников, общая добыча золота на которых превысила 400 т. Особо продуктивен был участок Амадор Каунти длиной 16 км, где глубина отработки рудных столбов достигала 1500 м. Месторождения представлены кварцевыми жилами с пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом, арсенопиритом, петцитом и золотом, минерализованными породами и залежами карбонатизированных пород. При большой глубине вскрытия и хорошей изученности зональность не была описана ни одним исследователем, что свидетельствует о ее, по крайней мере, очень слабом проявлении.

Колар (Индия) — типичное жильное месторождение, описано Нароянасвами и др., [Naroyanaswami et al., 1958]. Руды представлены кварцевыми и кварц-карбонатными жилами с золотом, гесситом, алтаитом, шеелитом, магнетитом, галенитом, пирротином, пиритом, арсенопиритом, молибденитом и пентландитом. Теллуриды распространены в вертикальном диапазоне более 3 км. Единственным признаком зональности является возрастание пробности золота на глубину. И.С.Рожков, подчеркивая отсутствие зональности и развитие теллуридов на больших глубинах, считает эти признаки характерными для месторождений большого вертикального размаха.

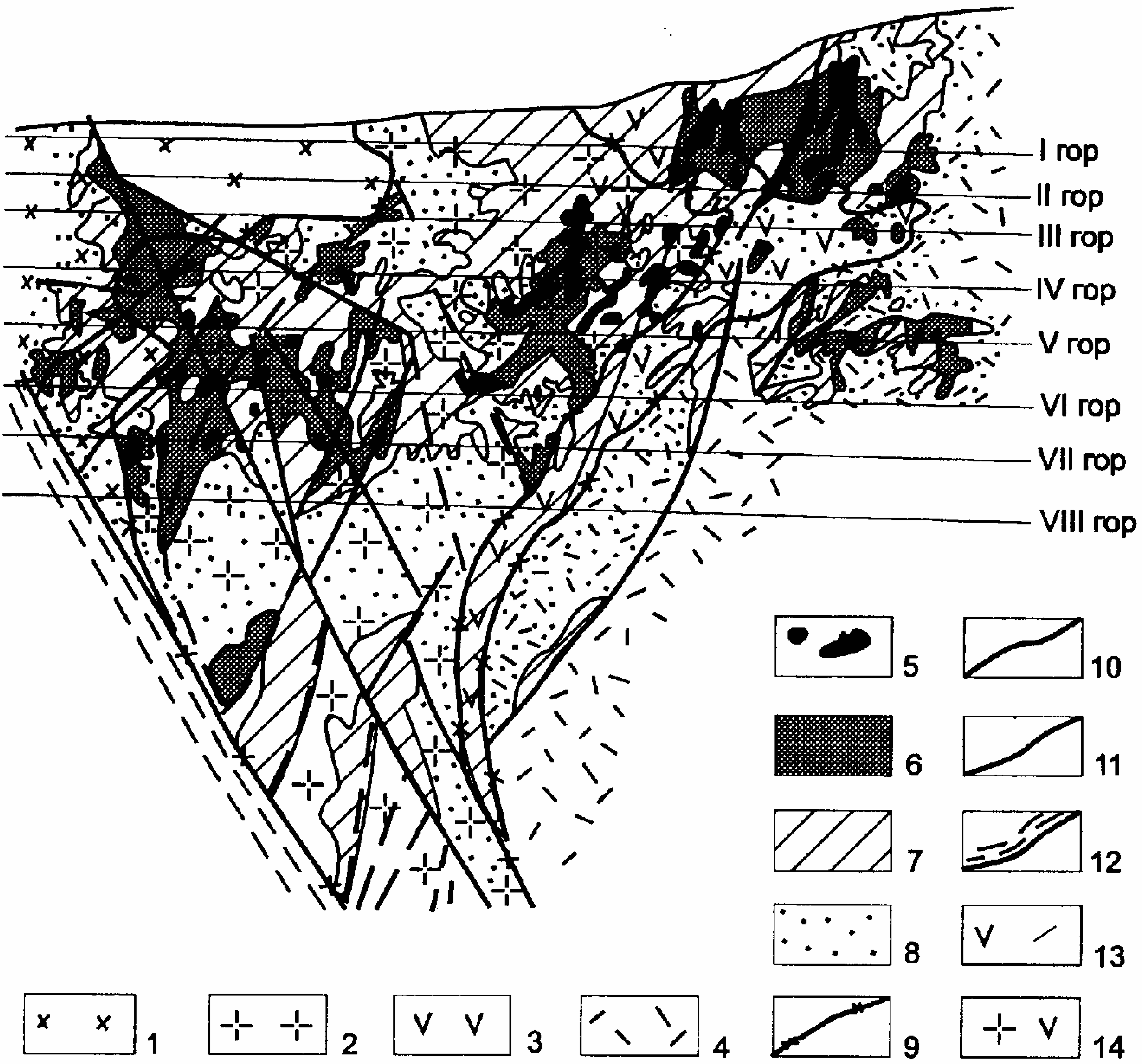


Рис. 17. Схема зональности месторождения Баладжал (по Г.Б. Левину с дополнениями В.А. Нарсеева).

1 - гранодиориты; 2 - кварцевые диориты; 3 - габбро-диориты, диабазы; 4 - вулканогенно-терригенные породы; 5 - рудные бонанцы; 6 - рудные столбы; 7 - богатые рудные тела; 8 - рядовые руды и минерализованные породы; 9 - контакты пород; 10 - трещины с глинкой трения; 11 - разрывные нарушения; 12 - зоны смятия; 13-14 - перекрытие пород в проекции.

Хомстейк (США). По А. Бетману [1949], седловидные залежи и жилы в докембрийских осадочных породах свиты Хомстейк склоняются согласно с шарнирами антиклинальных складок и прослежены более чем на 1500 м по падению. Руды имеют простейший состав (крупнозернистый кварц, анкерит, хлорит, куммингтонит, гранат, пирротин, арсенопирит) и совершенно не обнаруживают зональности. Месторождение эксплуатировалось с 1879 г. и дало к 1940 г. около 400 т золота при содержаниях: 1879-1905 гг. — 6 г/т, 1906-1933 гг. — 9 г/т, 1933-1940 гг. — 13 г/т.

Морро-Вельо (Бразилия) за 200 лет эксплуатации, вскрыто на глубину более 3 км [Ч. Парк мл. и Мак Дормид, 1966]. Месторождение залегает в метаморфизованных граувакках и сланцах с линзами кварц-анкеритовых и кварц-доломитовых пород. Главное тело представляет собой уплощенный столб седловидной формы (мощность 18 м, ширина 200-250 м, длина по падению 4800 м), склоняющийся под углом 15-45° вдоль оси складки. Отработан до глубины 3000 м. Состав руды: кварц, турмалин, гранат, кианит, анкерит, серицит, альбит, арсенопирит, пирит, пирротин, немного

халькопирита, редко встречаются вольфрамит, шеелит, тетраэдрит, борнит, сфалерит, галенит и антимонит. Участками сумма сульфидов достигает 60%. Золото очень тонкое, связано с пирротином и арсенопиритом; среднее содержание его 7-9 г/т. Зональность на месторождении не установлена, величина золото-мышьякового отношения постоянна во всех частях рудного тела. Аналогичное строение и состав руд имеют месторождения Эспириту-Санту, Рапасос и Пассадена.

Не отмечена зональность и для ряда других крупнейших месторождений: Криппль-Крик, Бендиго, Балларат, Грас-Валли, Моголлон, Чаньянчильо [Park, 1957]. Вместе с тем нам представляется необходимым высказать сомнения в ее полном отсутствии. Дело в том, что если колонна зональности растянута на большой вертикальный диапазон, то ее обнаружение возможно лишь при анализе всего материала, что затруднено различными обстоятельствами, и прежде всего длительностью эксплуатации объектов и отсутствием соответствующих материалов за все годы. С другой стороны, месторождения типа Морро-Вельо, как это показано для Брокен-Хилла (Австралия), вовсе не должны иметь зональности по падению, так как фактически она явилась бы зональностью по простиранию, т.е. положение руд в момент формирования не соответствует их нынешнему. Вероятно, такое предположение может быть справедливо и для других месторождений (например, Колар).

Обобщенная схема минеральной зональности

Изучение золоторудных месторождений показывает удивительную устойчивость схемы их вертикальной минеральной зональности. Снизу вверх в них представлены зоны (рис. 18):

1) кварц-пиритовая (пирротиновая), иногда магнетитовая, гематитовая;

2) кварц-пирит-арсенопиритовая с сульфидами меди и цинка;

3) карбонатно-кварцевая с сульфидами цинка и свинца, сульфосолями, теллуридами, пиритом;

4) кварцево-карбонатная с сульфосолями, антимонитом, киноварью;

5) карбонатная с редкими сульфидами (пиритом, галенитом).

Продуктивность по золоту максимальна для кварц-пирит-арсенопиритовой, карбонатно-кварцевой с сульфосолями зон и падает при переходе к кварцево-карбонатной с антимонитом. Важно отметить, что для каждой зоны характерны определенные формы выделения золота. В самой нижней золото рассеяно в пирите; во второй наряду с ним существенную роль играет свободное золото, которое превалирует в зоне сульфосолей. Здесь же отмечаются теллуриды золота. В остальных верхних зонах золото свободное. Размах оруденения (минерализации) на месторождениях может быть очень различным, однако соотношение зон достаточно устойчиво, и составляет около 1:1,5:1:0,5:0,5. Эти соотношения сохраняются для месторождений различного масштаба и генезиса.

Примеры зональности на месторождениях других металлов

Сульфиды в золоторудных месторождениях, как правило, составляют небольшой процент. В связи с этим имеет смысл рассмотреть вертикальную зональность месторождений других металлов, в рудах которых сульфиды играют большую роль. Естественно, что для медных и полиметаллических месторождений эта задача имеет самостоятельное значение, в связи с чем мы ограничиваемся лишь рядом примеров.

Уникальные серебряные месторождения Перу, Боливии и Мексики имеют четко выраженную вертикальную минеральную зональность.

Месторождение Хуанчака, Боливия [Бетман, 1949] представлено протяженными и мощными жилами в глинистых сланцах и конгломератах. Жилы зональны по мощности (от контакта к центру): корки кварца и пирита → массивный пирит, сфалерит, тетраэдрит → кварц, галенит, халькопирит → в центре сфалерит, тетраэдрит, бурно-

нит, буланжерит, редко пираргирит, стибнит, вюртцит, джемсонит, висмут. Вертикальная зональность в диапазоне 800 м выражается в смене галенита на нижних горизонтах сфалеритом и пиритом. Богатые тетраэдритовые столбы в верхней части жил содержали 6-20 кг/т серебра; в средних рудах серебра 1,5 кг/т, меди 5%, цинка 5%.

ЗОНА	ГЛАВНЫЕ АССОЦИАЦИИ	As	Fe	Bi	Te	Ca,Mg	Au	t °C	n
ИНДИКАТОРОВ	МАРКАЗИТ	арсенопирит → теннантит → реальгар → аурипигмент	пирит → марказит			доломит - сидерит → кальцит	Au в сульфидах	120	1,0
НАДРУДНАЯ	КИНОВАРЬ АНТИМОНИТ							200 ↑	0,5
РУДНАЯ	СУЛЬФОСОЛИ Ag, Sb, As.			висмутин - тетрадимит - сульфосоли Bi	теллуриды Au и Ag			220 ↑	0,5
	БЛЕКЛЫЕ РУДЫ ГАЛЕНИТ СФАЛЕРИТ						Au в сульфидах и свободное	320 - 260 ↑	1,0
	СФАЛЕРИТ ХАЛЬКОПИРИТ						Au в сульфидах	350 ↑	1 - 2
ПОДРУДНАЯ	ПИРРОТИН МАГНЕТИТ (ГЕМАТИТ)					доломит		400 - 350	1,0

Рис. 18. Обобщенная схема минеральной зональности отложения золоторудных месторождений.

Месторождение Колквирка, Перу [Бетман, 1949] — залежи в экзоконтакте монцонитов в трех пластах известняков, разделенных глинистыми сланцами. Верхняя залежь представлена богатыми медно-серебряными рудами (роговиковый кварц, барит, доломит, теннантит, штромейерит, пирит, виттихенит, галенит, пирсеит, штернбергит, сфалерит, редко энаргит); средняя — свинцово-серебряными; нижняя — медно-пиритовыми. Аналогична зональность месторождения Ф р е с н и л ь о, Мексика, где в жилах и штокверковых зонах нижняя часть представлена медными рудами (2-6% меди), выше — свинцово-цинковыми и далее — серебряными.

Месторождение Пачука, Мексика [Бетман, 1949; Ч. Парк мл. и Мак Дормид 1966] — трещинные крустификационные жилы в сбросах среди дацитов и андезитов третичного возраста и осадочных пород верхнемелового имеют ярко выраженный столбовой характер оруденения. Вертикальная зональность (сверху вниз): 0-400 м — безрудная зона индикаторов, безрудный кварц; 400-600 м — зона серебряного оруденения — кварц, адуляр, аметист, кальцит, барит, галенит, аргентит, полибазит, стефанит, акантит, серебро, золото (Au:Ag = 1:200); более 600 м — зона полиметаллических и медных руд — кварц, родонит, доломит, родохрозит, бустамит, барит, пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, участками борнит, ковеллин, халькозин.

На месторождении Гастон, США, по данным Ч. Парка мл. и Мак Дормида [1966], сверху вниз установлены следующие зоны.

Поверхность — галенит, тетраэдрит. Содержания серебра 700-1200 г/т, золота — сл., свинца 50-60%.

0-45 м — галенит, штромейерит и самородное серебро.

45-110 м — уменьшение количества галенита.

100-160 м — самые богатые руды серебра (до 450 кг/т), содержания золота 3-80 г/т, свинца 12%.

200-270 м — борнит, халькопирит, пирит. Содержания серебра 3700-12000 г/т, золота — 10 г/т. В халькопиритовых рудах серебра 400-2000 г/т, золота — до 25 г/т, меди — 8-15%. Далее вниз нарастает количество пирита, халькопирита, борнита, повышается содержание золота (до 700 г/т) и падает содержание серебра.

500 м — серебросодержащий пирит, борнит, халькопирит, барит, золото.

520 м — пиритовые руды с редким борнитом, халькопиритом, баритом. "Такая зональность стала очевидной — отмечают Ч. Парк мл. и Мак Дормид [1966] — только после отработки месторождения".

Для установления схемы зонального размещения сульфидов нами были обобщены литературные данные по 176 месторождениям полиметаллов, меди и олова. Из 96 полиметаллических месторождений схема вертикальной зональности (снизу вверх) — пирротин (гематит, магнетит) → (арсенопирит)[2], пирит → халькопирит → сфалерит → галенит → блеклые руды, сульфосоли серебра → киноварь, антимонит, реальгар и аурипигмент — выдерживается (с выпадением отдельных зон) на 86 месторождениях. Из 50 медных и медно-молибденовых месторождений схема (снизу вверх) — молибденит, магнетит, гематит, пирротин → колчеданы (пирит, халькопирит) → медно-цинковые, медно-цинк-свинцовые руды → полиметаллические (сфалерит, галенит) → (барит), галенит, сульфосоли серебра, золото — выдерживается (с выпадением отдельных зон и появлением других сульфидов меди — борнита, энаргита, халькозина и т.п.) в 36 случаях. Из 20 оловянных месторождений, содержащих сульфиды, схема зональности (снизу вверх) — (пирротин, арсенопирит), пирит → сфалерит, (галенит, халькопирит) → галенит, сульфосоли — выдерживается на 17 объектах.

Таким образом, обобщение материалов более чем по 300 месторождениям золота, серебра, олова, свинца, цинка и меди свидетельствует об удивительной выдержан-

[2] В скобках даны минералы, которые не всегда присутствуют в указной зоне.

ности схемы вертикальной зональности размещения основных сульфидов, входящих в состав руд.

Статистическая обработка данных по 550 крупнейшим месторождениям мира позволила Г. Тейлору мл. [Проблемы постмагматич..., 1963] установить частоту вариантов последовательности образования сульфидов (табл. 44-47), отражающую закономерность, описанную выше для случая зональности отложения. Он пишет: "Замечательное сходство обнаруживается в парагенетических сериях (рядах) минеральных ассоциаций и гипогенной зональности в месторождениях сульфидов металлов во всем мире" (1963, стр. 264). Это замечательное сходство отмечал еще В.Линдгрен, давая парагенетические ряды элементов: железо — никель — кобальт — цинк — медь — свинец — серебро — золото — сера — мышьяк — сурьма — селен, теллур.

Таблица 44

Статистические данные о последовательности выделения пирита, халькопирита и сфалерита в рудах различных месторождений [Проблемы ..., 1965]

Месторождения	Халькопирит → пирит			Сфалерит → пирит		
	всего	с данной последовательностью	%	всего	с данной последова-тель-ностью	%
Медные	87	86	98	55	55	100
Золоторудные	63	62	98	58	57	98
Золото-серебряные	66	65	98	74	72	97
Свинцово-цинковые	78	76	97	93	90	98

Как видно из табл. 44, сульфиды железа в подавляющем числе случаев отлагаются первыми (раньше халькопирита, сфалерита и других сульфидов). Далее ряд последовательности сульфидов выглядит следующим образом: халькопирит → сфалерит → галенит-тетраэдрит. Устанавливается отчетливая связь времени выделения сульфидов меди и полиметаллов с составом руд. Для медных и медно-полиметаллических руд медные сульфиды являются более ранними, а для свинцово-цинковых и серебро-свинцовых — поздними. Такие закономерности обусловлены влиянием закона действующих масс, т.е. начальных концентраций элементов в растворах. Нетрудно видеть, что указанные статистические данные могут быть прямо использованы для случая проявления зональности отложения. В целом они не противоречат описанной выше зональности и являются отражением эволюции состава растворов во времени.

Таблица 45

Статистические данные о последовательности выделения сульфидов в рудах месторождений различных металлов [Проблемы ..., 1965]

Месторождения	Сфалерит → энаргит			Халькопирит → энаргит			Галенит → энаргит		
	всего	с данной последовательностью	%	всего	с данной последовательностью	%	всего	с данной последовательностью	%
Медные	5	3	60	8	1	12	4	3	75
Медно-полиметаллические	9	4	44	9	8	89	12	12	100
Свинцово-цинковые и золото-серебряные	8	1	12	3	3	50	9	3	33

Таблица 46

Статистические данные о последовательности выделения сульфидов в рудах месторождений различных металлов [Проблемы ..., 1965]

Месторождения	Тетраэдрит → сфалерит			Тетраэдрит → халькопирит			Галенит → тетраэдрит		
	всего	с данной последовательностью	%	всего	с данной последовательностью	%	всего	с данной последовательностью	%
Медные	16	10	83	27	27	100	17	5	29
Золотые	18	16	89	18	15	83	17	5	33
Медно-полиметаллические	17	15	88	17	9	53	15	1	7
Свинцово-цинковые	40	37	93	35	19	54	37	20	54

Столь жестко детерминированная схема последовательности отложения сульфидов (табл. 47) дает основание говорить о наличии единой схемы минералообразования в гидротермальных системах, обусловленной едиными законами эволюции.

Зональность околорудных метасоматитов

Этот вид зональности должен рассматриваться совместно с минеральной зональностью — с одной стороны и геохимической — с другой. Зональность метасоматитов изучалась многими исследователями, особенно в период становления и развития теории Д.С. Коржинского и его учеников. Для палеозойских структур А.Ф. Коробейников [1988а] дал следующую последовательность типов метасоматитов золоторудных месторождений (сверху вниз): аргиллизитовая близповерхностная — пропилито-кварцевая малоглубинная — скарновая гипабиссальная — кварцево-альбитовая и актинолитовая среднеглубинная — березит-лиственитовая среднеглубинная — гумбеитовая среднеглубинная. Проявление вертикальной зональности метасоматитов является результатом изменения их состава под влиянием эволюции растворов во времени и пространстве. Усложнение зональности происходит в неоднородных по составу породах. Наиболее ярко зональность проявлена на б л и з п о в е р х н о с т н ы х вулканогенных месторождениях.

Таблица 47

Статистические данные о последовательности выделения сульфидов в рудах месторождений различных металлов [Проблемы ..., 1965]

Месторождения	Сфалерит → халькопирит			Галенит → халькопирит			Галенит → сфалерит		
	всего	с данной последовательностью	%	всего	с данной последовательностью	%	всего	с данной последовательностью	%
Медно-никелевые	59	48	81	48	48	100	40	39	98
Оловянные	13	8	61	10	9	90	11	10	91
Медно-полиметаллические	26	18	69	24	20	83	24	23	96
Золотые	38	30	79	34	25	74	39	38	98
Золото-серебряные	64	48	75	66	42	64	70	62	88
Кобальт-серебро-урановые	12	9	75	12	7	58	12	10	83
Свинцово-цинковые	75	72	96	71	32	46	85	80	94

Г.М. Власов считает золото-серебряные месторождения приповерхностным звеном пропилитовой формации и отмечает, что они располагаются среди наиболее низкотемпературных хлоритового и хлорит-карбонатного типов пропилитов. При этом золотое оруденение локализуется обычно ниже зоны вторичных кварцитов, а ртуть — выше. Вертикальная зональность метасоматитов золоторудных приповерхностных месторождений описана для многих районов мира. Детально изучена вертикальная зональность метасоматитов месторождения Балей [Балейское..., 1983]. По данным Н.В. Петровской, В.Г. Хомича, О.В. Русиновой и др. сверху вниз устанавливаются следующие зоны:

1. Кремневидных кварцев (30 м). В.Г. Хомич не относит их к образованиям самой верхней зоны на основании наблюдаемых пересечений рудными жилами. По его данным самой верхней зоной являются пористые кварциты с массами землистого мельниковит-пирита и других сульфидов.

2. Зона выщелачивания с подзонами реликтового кварца (10 м) и каолинита (10 м).

3. Аргиллиты большой вертикальной протяженности с закономерно меняющимся на глубину составом глинистых минералов. О.В. Русинова на основании специального изучения дает следующую картину поведения глинистых минералов по вертикали.

а) Слюды и гидрослюды отмечены на всех горизонтах месторождения в значительных количествах.

б) Минералы каолиновой группы характерны для верхних горизонтов (подзона каолинитов).

в) На средних и нижних горизонтах развиты смешанно-слойные образования, в которых с глубиной снижается монтмориллонитовая и увеличивается вермикулит-хлоритовая составляющая. Максимуму золотого оруденения отвечает монтмориллонитовая зона.

Для месторождений Телькибаньи Ю.Т. Щербаков [1967] приводит следующую схему вертикальной зональности метасоматитов.

1. Зона каолинизации (до глубины 100 м) сопровождает жилы с низкими содержаниями золота.

2. Зона монтмориллонита (до глубины 200-300 м, по разломам 400-500 м) характеризуется максимальными содержаниями золота и серебра. Переходит через подзону смешаннослойного монтмориллонит-хлорита в хлоритовую.

3. Зона клинохлорсодержащих пропилитов, развитых по андезитам. В верхних частях пропилитовой зоны, где этот процесс развит очень интенсивно, присутствует адуляр, с которыми связаны высокие содержания золота.

4. Зона эпидотовых пропилитов, сопутствующих первичным сульфидным рудам, имеет постепенный переход от хлоритовых в интервале 1400-1500 м.

На Архарлинском рудном поле общая схема вертикальной зональности метасоматитов представляется в следующем виде (сверху вниз): алунитовые кварциты — монокварциты — каолинитовые кварциты — серицитовые кварциты — хлорит-серицит-карбонатные пропилиты — хлорит-эпидот-альбитовые пропилиты с вертикальным размахом соответственно 50, 50-60, 70-80, 60-80, 120-150, и более 100 м (нижняя граница не определена). Промышленное золото-серебряное оруденение локализуется в зоне серицит-хлорит-карбонатных пропилитов и постепенно затухает в эпидотовых пропилитах. Зона серицитов и монокварцитов характеризуется рассеянной минерализацией. Специфическими околорудными метасоматитами являются адуляр-кварцевые, развитые только в пределах интервала промышленных руд.

Аналогична вертикальная зональность метасоматитов на месторождении Берегово, Микава, Тонопа, Белой Горы, Теликбаньи, Кочбулака, Чадака, Голдфилда, Янки Герл, Гастона и др. Зональность метасоматитов близповерхностных месторождений в

зависимости от глубины формирования и литологических условий представлена двумя типами. Первый — малоглубинный в алюмосиликатных породах кислого и среднего состава имеет колонну (сверху вниз): монокварциты — каолинитовые кварциты — пропилиты. Второй, вероятно, более глубинный — аргиллиты, кварц- серицитовые метасоматиты — пропилиты с зонами адуляра и альбита. Следует отметить, что положение адуляра в колонне метасоматитов не вполне ясно. Очень много доводов за то, что адуляризация является синрудным процессом изменения вмещающих пород.

Для месторождений средних глубин формирования зональность проявлена менее контрастно, особенно по вертикали. Наиболее широко распространены околорудные изменения, в практике определяемые как березиты, пропилиты, лиственниты и соответствующим образом измененные породы, т.е. тип изменения четко определяется литологическим составом пород. Как правило, интенсивность изменений возрастает по мере приближения к рудным телам. На глубину мощность зоны измененных пород увеличивается при падении интенсивности преобразований. Полная характеристика формации околорудных измененных пород месторождений средних глубин приведена Ю.В. Казициным в его докторской диссертации. Главными особенностями метасоматитов среднеглубинных месторождений являются широкие ореолы слабых изменений [Боголепов, 1995], малоконтрастная зональность, слабое развитие специфических фаций, слабое отличие синрудных, предрудных и безрудных метасоматитов. Все это затрудняет возможности их прямого использования. Вместе с тем, как показал В.Г. Боголепов, именно ореол слабых изменений отвечает объему рудного поля, в связи с чем изучение "слабых" метасоматитов весьма важно [Боголепов, 1995].

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что зональность околорудных измененных пород, являющихся общим показателем проявления гидротермальных процессов, имеет важное значение при анализе эндогенных ореолов рассеяния.

Геохимическая зональность

Под геохимической зональностью нами понимается закономерное изменение в пространстве химического состава (и производных от него) отдельных минералов, ассоциаций, рудных тел и их систем. Эта зональность может выражаться в виде полей абсолютных значений содержаний, их градиентов и различных отношений (индикаторных, корреляционных и др.). Прикладное значение при оценке месторождений имеет зональность: а) распределения абсолютных содержаний основных и сопутствующих элементов в рудах (общая зональность рудных тел), б) распределения содержаний основных элементов и примесей, их изотопов в минералах руд; в) распределения абсолютных содержаний основных и сопутствующих элементов в околорудных породах и минералах из них (зональность первичных ореолов); г) величин индикаторных отношений в рудах, первичных ореолах, отдельных минералах из них; д) градиентов содержаний и отношений элементов в рудах, околорудных породах и минералах из них; е) удельных концентраций элементов и их градиентов; ж) видов и энтропий функций распределения содержаний элементов в рудах, околорудных породах и минералах из них; з) различных корреляционных отношений элементов. В связи с применением математических методов в геологии и геохимии использование различных производных основных видов геохимической зональности получает все более широкое развитие [Нарсеев, 1968 б].

Распределение и зональность содержаний золота в рудах

Анализ структуры распределения содержаний золота является важным методом выявления геохимической зональности месторождений и определения естественных границ оруденения разной интенсивности. Его применение имеет основное значение при выделении рудных столбов, которые мы считаем элементом геохимической зональности. Распределение содержаний изучалось на большинстве разведанных место-

рождений золота Казахстана на основе данных разведочного и эксплуатационного опробования. На первой стадии работ предполагалось, что на структуру распределения могут влиять: пространственное положение рудных тел в объеме месторождения, структурная позиция рудных тел и их ориентировка; различие в составе вмещающих пород, степень неоднородности среды, положение по отношению к интрузиям; стадийность процессов минералообразования и различие форм нахождения золота; представительность и полнота опробования, размер проб, наличие корреляции между мощностью и содержанием.

В соответствии с этим выбирались объекты исследования, которые различались по указанным характеристикам. Обработка данных опробывания заключалась в построении графиков частот встречаемости содержаний различных классов, отождествляемых с графиками плотности вероятностей P(x). При построении соблюдались такие условия: масштаб логарифмический при равноинтервальной шкале; число классов содержаний не менее 11; минимальное число проб в классе 10-15. Обоснование принятой методики работ, рассмотрение граничных условий ее применения и возможностей содержательного анализа результатов обстоятельно сделано В.Л. Лосем [1994]. В применении к проблеме рудных столбов месторождений золота методика использована нами и Г.Б. Левиным и др. [1969, 1970].

На рис.19 и 20 приведены примеры P(x) для некоторых месторождений Казахстана. Из них видно, что распределение золота в рудах имеет полимодальный характер. Полимодальные распределения с определенной долей условности могут быть разложены на элементарные логнормальные ($P_э$). Выяснилось, что моды $P_э$ имеют примерно постоянное значение для руд месторождений различных типов.

Для характеристики степени стабильности границ Рэ построен график P(x) их значений по всем рудным телам изученных месторождений (рис. 21). Установлено, что часть границ Рэ (им соответствует левая часть графика) устойчива, имеет незначительные дисперсии и может быть использована для различных построений (определение границ рудных столбов, тел; отнесение месторождений, рудных тел к различным группам по содержаниям и т.п.). В правой части Рэ сливаются, их разделение затруднено. Поскольку эта часть кривой характеризует богатые руды, можно предположить, что их образование имеет иной механизм, чем рядовых руд. Выделяя различные границы уровней интенсивности рудоотложения, мы отождествляем их (на основе существующих представлений о промышленных кондициях) с фоновой минерализацией — 0,33 г/т, минерализацией в пределах рудных зон — 1,9 г/т, рудными телами — 5,95 г/т и столбами различных порядков — 18,8; 59,5; 188 г/т и т.д. Такой подход позволяет сразу оценивать промышленное значение того или иного объекта и сопоставлять его с другими. На изученных месторождениях отмечается закономерное изменение структуры распределения содержаний золота, т.е. вертикальная зональность этого свойства. На примере ряда месторождений отчетливо видно увеличение числа элементарных распределений и уменьшение их стабильности по восстанию [Нарсеев, 1968 в]

Возрастание сложности распределения отражает эволюцию гидротермальной системы, повышение степени ее организации и может быть выражено изменением информативности функции распределения, численно равной ее энтропии

$$J = H(x) = -\int f(x)\,\log f(x)dx = \sum_{i=1}^{k} P_i \log P_i,$$ где p_i — частота в i-том интервале группирования, К — число таких интервалов. Очевидно, что простейшие процессы приводят к низкой организации системы и максимуму ее энтропии. Чем сложнее процесс формирования системы (месторождения), тем больше должна быть информативность распределения и тем ниже энтропия поля содержаний. Характерно, что

месторождения невысокого качества обладают весьма низкой информативностью распределения. Таким образом, на основе указанных параметров можно не только сравнивать между собой отдельные объекты или их части, но и давать общую оценку их перспектив.

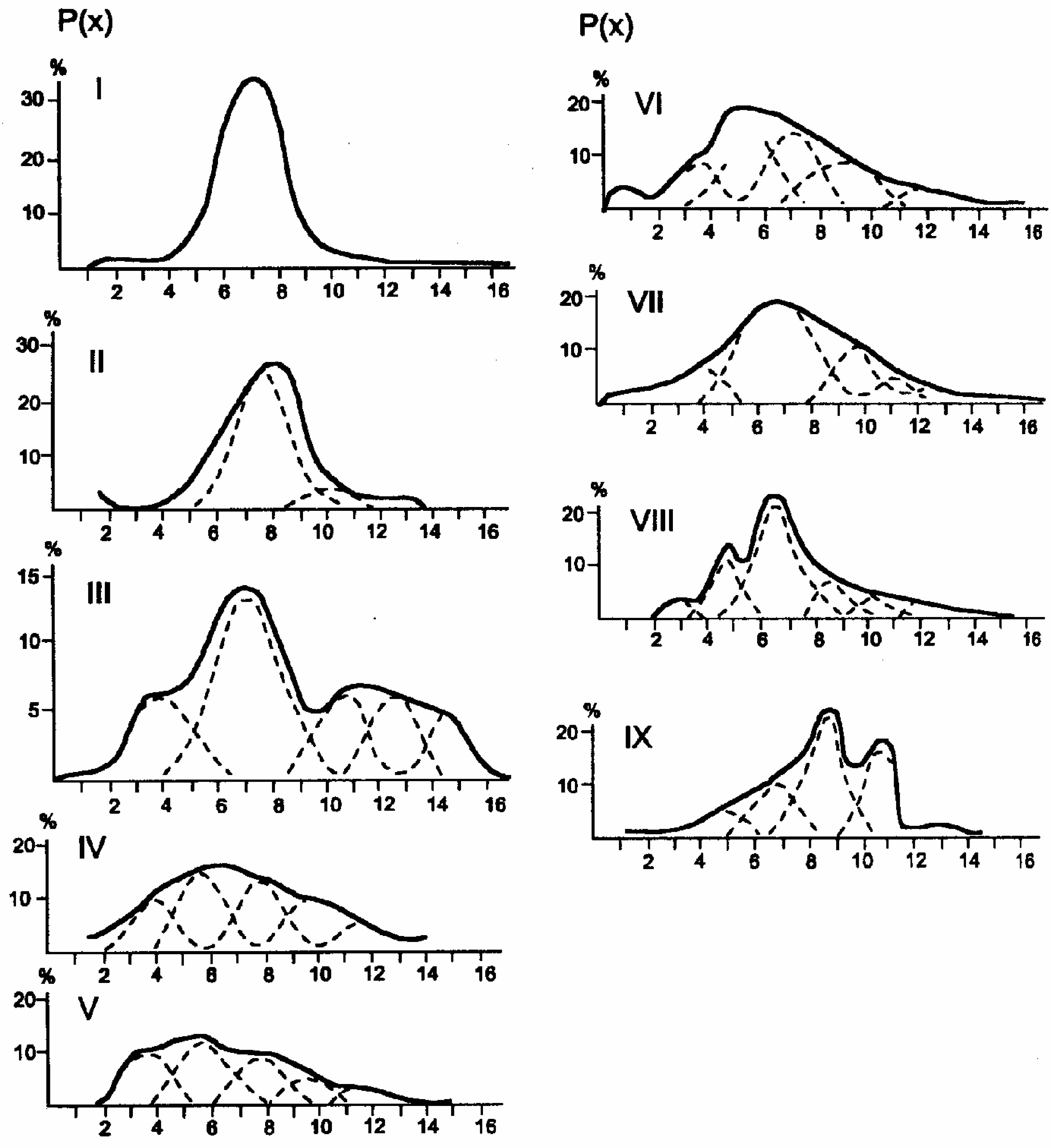


Рис. 19. Кривые $P_{(x)}$ содержаний золота в рудах месторождений.

I - Акжал, II - Баладжал, III - Архарлы, IV - Джетыгара (жила Пологая), V - Джетыгара (жила Коренная), VI - Жолымбет, VII - Аксу, VIII - Таскара, IX - Акбакай;
Значения классов содержаний (1-16) показаны на рис. 18.

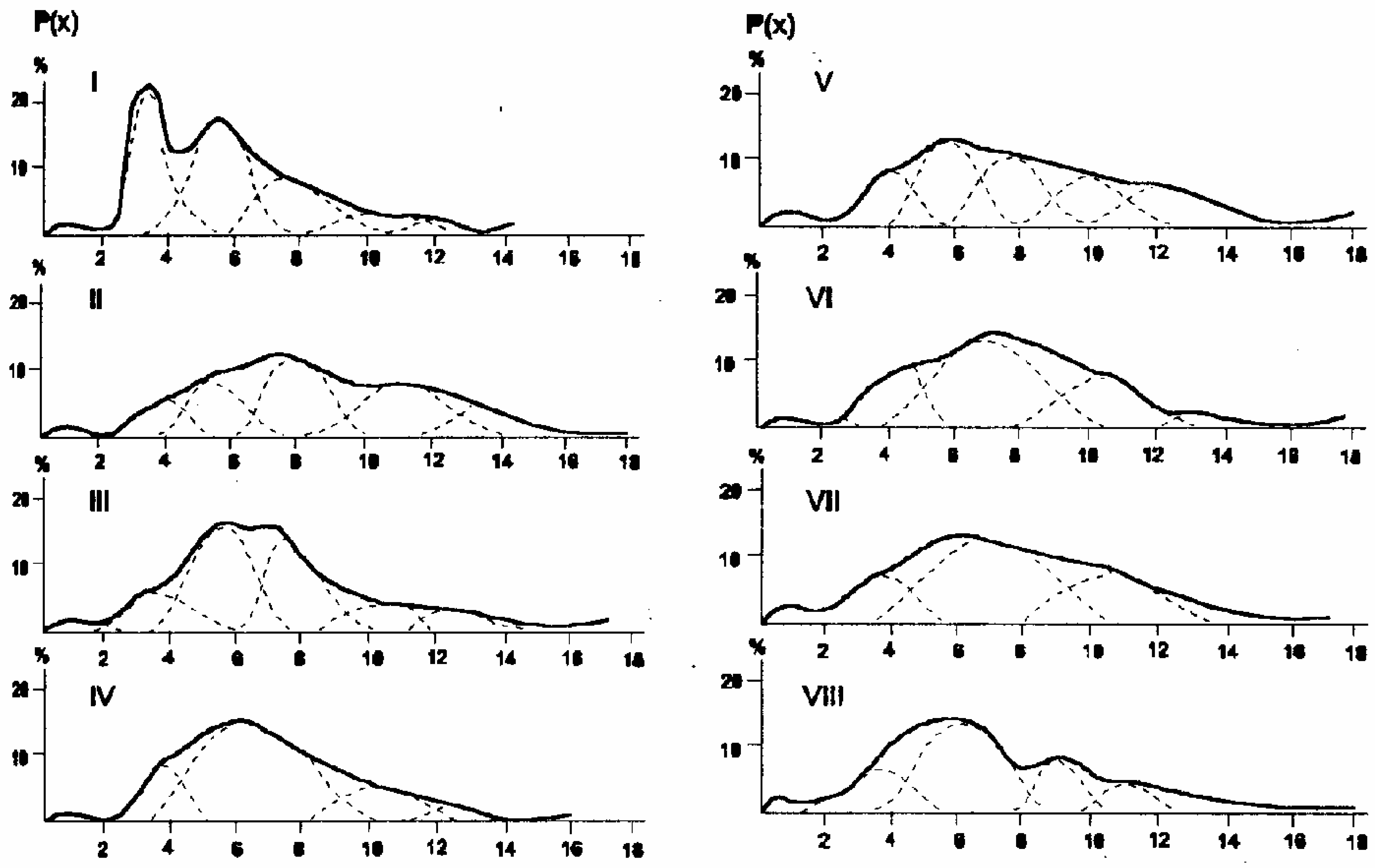


Рис. 20. Кривые $P_{(x)}$ содержаний золота в рудах жилы Южная-4 месторождения Бестюбе.

I - гор. 115 м (985 проб), II - гор. 160 м (1750 проб), III - гор. 205 м (1417 проб), IV - гор. 250 м (2020 проб), V - гор. 295 м (1950 проб), VI - гор. 340 м (1560 проб), VII - гор. 385 м (1640 проб), VIII - гор. 430 м (440 проб).

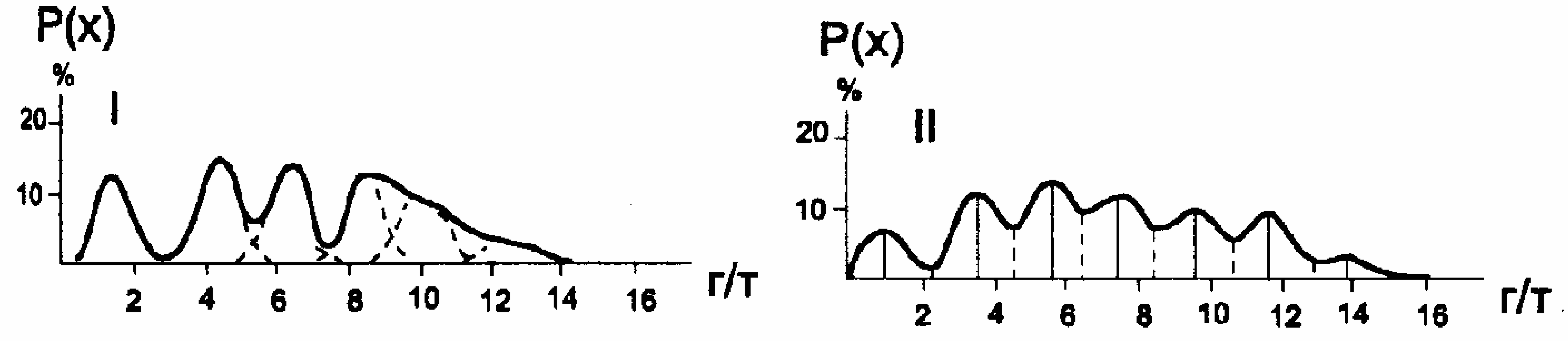


Рис. 21. Кривые $P_{(x)}$ значений границ (I, 560 значений) и мод (II, 640 значений) элементарных распределений содержаний золота в рудах.

Значения содержаний золота (г/т) в классах: 1 - менее 0,2; 2 - 0,2-0,44; 3 - 0,45-0,79; 4 - 0,80-1,41; 5 - 1,42-2,51; 6 - 2,52-4,46; 7 - 4,47-7,95; 8 - 7,96-14,1; 9 - 14,2-25,1; 10 - 25,2-44,6; 11 - 44,7-79,5; 12 - 79,6-141,0; 13 - 142,0-251,0; 14 - 252,0-446,0; 15 - 447,0-795,0; 16 - 796-1410; 17 - 1411-2520; 18 - 2521-4460.

Изучение объемной структуры полей концентраций золота на месторождениях всегда сводилось к проблеме рудных столбов (бонанцев). При введении представлений об уровнях концентраций появилась возможность рассматривать симметрию полей содержаний дифференцированно. Оказалось, что распределение золота стремится к высокосимметричному (хаотическому). При этом морфология локальных концентраций изменяется от линейно-призматической к ленточно-плитчатой и далее до трехмерно-амебовидной и равномерно-шаровидной (капельной). Важно отметить уменьшение объемов таких локальных концентраций на 2-3 порядка по сравнению с линейными и ленточными. Происходит своеобразная гомогенизация объема, аналогии которой уводят нас в область нелинейных процессов. Так, при нагревании образцов золотоносного пирита вначале происходит укрупнение выделений золота и его объединение в

линейно-петельчатые структуры, а затем очень быстро золотины диспергируются с образованием гомогенной эмульсии мелких "капель" металла. Аналогичные процессы протекают в эмульсиях вода-глицерин, вода-растительное масло. В основе механизма возникновения однородного высокосимметричного распределения в таких системах лежит эффект "ячеек Бенара".

Другой важной особенностью распределения содержаний золота в рудах является периодичность появления высоких концентраций по падению рудных тел и зон. Это явление описано автором [Нарсеев, 1969]. При этом выделяются две группы объектов — с одно- и многоритмовым характером кривых распределения. Величина шага (длины волны) составляет 250-400 м, для многоритмовых распределений кривая имеет вид затухающего осциллятора. Аналогичным образом ведут себя и другие параметры оруденения (длина рудных тел, запасы руды и металла). Это явление связывается с синергетическими процессами, автоколебательными вариациями концентраций элементов в направлении колонны рудообразующей системы. Тот же механизм наиболее убедительно объясняет явление автономного упорядочения концентрации золота в системе кварцевых жил. Параметры этого упорядочения кратны величинам волны автоколебаний моноритмового распределения. Вероятно, они различны для разных уровней концентрации, выявляемых при анализе структуры распределения.

Зональность распределения элементов-примесей в минералах золоторудных месторождений

Этот вид геохимической зональности постоянно устанавливается на месторождениях. Он имеет теоретическое и практическое, значение, т.к. позволяет, с одной стороны, раскрыть условия минералообразования при формировании руд, с другой — использовать закономерности распределения элементов для суждения о глубине эрозионного среза объекта и вертикального размаха оруденения. Путь теоретического анализа через законы распределения примесей в кристаллизующейся твердой фазе, сульфидную геотермометрию используется в геологии и геохимии довольно широко. Практическое применение пока ограничивается проведением пиритной съемки (пиритометрии) на единичных объектах, использованием при объяснении электрофизических свойств минералов, интерпретации ореолов и т.п., то есть, как в том, так и в другом случае возможности этого вида зональности используются далеко не полностью. На золоторудных месторождениях зональность распределения элементов-примесей в минералах слабо изучена. Между тем, имеющиеся данные о зональности пробности золота — основного полезного минерала, элементов-примесей в пиритах, арсенопиритах, кварце и ряде других минералов свидетельствуют о наличии интересных закономерностей, выявление и использование которых способствует повышению эффективности геолого-геохимических исследований.

Пробность золота. Состав золота (пробность и лигатура) испытывает закономерные колебания в объеме месторождений и является важным геохимическим индикатором условий формирования руд. Все исследователи указывают, что на пробность золота влияет комплекс причин. Из них главными являются генетический тип месторождения, глубина и температура его формирования, состав и свойства растворов, время выделения золота и метаморфизм руд, свойства руд (наличие теллура, сульфидность, серебристость, концентрация золота, размер золотин и ряд других). Поскольку многие из перечисленных причин оказывают влияние на зональность месторождений, мы вправе ожидать, что изменения пробности в объеме этих месторождений будут иметь закономерный характер.

Эндогенная зональность пробности золота изучалась нами на примере ряда месторождений Казахстана. Были применены косвенные методы определения пробности — по микротвердости, отражательной способности и прямые — микроспектральный, атомноабсорбционный. Наиболее полные сведения о золоте жильных месторождений

Северного Казахстана приведены в материалах сотрудников МГУ — Е.С. Шалаева, Н.В. Назьмовой и других, в сводных работах Э.М. Спиридонова и И.А. Бакшеева. По данным этих авторов пробность золота месторождения Бестюбе составляет 880 на гор. 295-340 м. По данным эксплуатации она изменялась следующим образом: верхние горизонты (до 75 м) — 820, гор. 75-170 м — 820-840, гор. 250-340 м — 360-870. За период с 1952 по 1962 г. колебания пробности золота составили 617,2 — 835,2, среднее 864. В соответствии с представлениями Г. Радена эта пробность является кажущейся и обычно занижена по сравнению с истинной. В. Гришин и Е. Косяк в 1969 году, изучая истинную пробность золотин, установили ее изменение с глубиной: гор. 115 м — 830; гор. 250 м — 912, гор. 340 м — 970, при значительных колебаниях в одном шурфе. Наши исследования выявили зональность золотин по пробности и мозаично-неоднородное распределение пробности. Последний тип распределения наиболее характерен. Это обстоятельство привело к необходимости изучения зональности пробности методами математической статистики. В результате оказалось, что для месторождений характерно вполне закономерное изменение пробности на глубину (табл. 48). Для верхней части жил градиент изменения составляет единицы пробности на 100 метров, а для средних и корневых частей — десятки единиц. Пробность золота в диапазоне глубин 370 м меняется от 836 до 912 по наиболее изученной жиле Южная-4. Таким образом, устанавливается отчетливая вертикальная зональность, при этом на глубину среднее значение пробности золота возрастает, а его дисперсия — падает.

Таблица 48

Изменение пробности золота

Жилы, горизонты	Количество проб	Количество замеров	Пробность			Градиент
			от	до	среднее	
Жила Южная - 4						
гор. 115 м	1	9	810	914	836	-
гор. 295 м	2	23	770	914	842	3
гор. 385 м	4	67	870	997	912	77
Жила Южная - 6						
гор. 295 м	1	16	780	946	901	-
гор. 385 м	2	15	806	998	905	4
Жила 182 м						
гор. 250 м	3	43	770	972	903	-
гор. 340 м	2	22	770	976	928	28
Жила Майская - I						
гор. 250 м	1	4	902	921	915	-
Жила Февральская						
гор. 250 м	1	20	770	995	842	-

Нами и А.М. Мысником установлены изменения пробности на месторождениях Юго-Восточной Калбы. В общей схеме зональности проба меняется от 670-560 до 850-870 (сверху вниз), т.е. градиент составляет 20-30 ед/100 метров. Данные о пробности золота приведены в табл. 49. В ней ряд формаций (от I до III) отвечает схеме общей вертикальной зональности месторождений (снизу вверх).

Таблица 49

Пробность золота некоторых месторождений Юго-Восточной Калбы (по А.М. Мыснику, с дополнениями автора)

Формация, месторождение, жила	Пробность		
	от	до	среднее
I. Золото-кварц-сульфидная			
Джумба			
Соседняя	790	870	850
Старо-Параллельная	800	850	820
Федор-Ивановская	800	820	810
Занинская	820	850	840
Сомнительная	800	850	840
II. Золото-кварц-альбит-шеелитовая			
Кулуджун			
Ретивая	720	840	780
Праведная	720	820	790
Рюрик	720	820	760
Веселая	720	800	780
Рюрик-2	720	840	760
Достойная	800	860	820
Лайлы			
Гениальная	650	700	670
Пионер	650	750	720
Марат	700	750	720
Варвара	600	620	610
Возрождение	700	-	700
Генеральская	700	-	700
Богатырь	700	-	700
III. Золото-кварц-полисульфидная			
Кулуджун			
Александровская	620	670	660
Скалистая	650	700	670
Колчеданная	600	850	700

На месторождении Архарлы нами установлен рост средних значений пробности золота на глубину (табл. 50).

Таблица 50

Пробность золота месторождения Архарлы

Жила, горизонт	К-во проб	К-во замеров	Пробность			Градиент сп/100 м
			от	до	среднее	
Жила 21						
Поверхность	5	60	470	800	570	окисл.
гор. 10 м	3	32	420	570	520	руды
гор. 65 м	2	18	550	620	570	10
гор. 80 м	1	15	540	620	610	12
гор.150 м	1	10	600	680	620	4
Жила 20, 20а						
Поверхность	3	15	650	750	710	окисл.
гор. 10 м	6	25	600	650	540	руды
гор. 65 м	3	20	550	650	600	12
гор. 150 м	2	10	610	670	660	8
гор. 195 м	1	7	650	700	690	7

Возрастание пробности золота на глубину при градиентах в первые десятки единиц на 100 м отмечено для очень многих месторождений — Каральвеема, Чадака, Андреевского и Саралы, Березовского, Кировского, Мэни, Ярбриджа, Националя, Хомстейка, Сигмы, Ламака, Керр Эдисона, Витватерсранда, Колара, Балея. Обратная картина (для первичных руд) установлена на Мурунтау, Токуре, ряде месторождений Австралии, Африки, Канады.

Изложение этих данных приводится ниже.

Месторождение Балей. В.Г. Хомич и С.В. Чеглоков [1965а] указывают, что все рудные тела, направленные к корневой части поля, имеют повышенные содержания золота и увеличенную пробность. О.Е. Звягинцев приводит данные об изменении химизма золота на месторождении, из которых видно, что с глубиной происходит закономерное повышение пробности (табл. 51).

Таблица 51

Состав золота различных горизонтов месторождения Балей

Элемент	Горизонт			
	I	II	III	IV
Золото	69,83	73,62	75,91	74,91
Серебро	19,53	22,48	20,10	20,63
Железо	8,74	1,11	1,44	1,22
Медь	+	0,11	+	+
Сера	0,34	1,06	1,54	1,40
Магний+кальций	1,55	1,29	1,16	1,56
Теллур	0,18	0,40	0,58	0,70
Платина	0,09	-	0,1	
Свинец	0,10	-	0,62	0,10
Сурьма	+	0,15	-	0,10

Примечание: + означает присутствие элемента

А.Ф. Воросов, В.И. Красников, В.И. Лозовский, С.С. Максимов, В.Д. Пантаев, Г.А. Питаева, В.С. Сычугов, Г.В. Сенчуков, В.А. Фаворов описывают результаты изучения пробности золота Балея с помощью методов микротвердости и термоэдс. В целом, для рудного поля установлено закономерное изменение указанных параметров на глубину (табл. 52).

Таблица 52

Величина термоэдс (ТЭДС), микротвердости (М) и пробности (П) золота Балея

Рудная зона и часть рудного поля	Число замеров ТЭДС / М	ТЭДС, мв / М, кг /мм^2			П (сред.) по ТЭДС
		от	до	среднее	
Третья, южная	146 / 144	0,008 / 52	0,078 / 109	0,048 / 69	500
Первая, центральная	440 / 261	0 / 52	0,84 / 109	0,39 / 69	600
Южное поле, центральная	120 / 261	0,06 / 46	0,48 / 76	0,30 / 63,8	680
Северное поле, северная	57 / 48	0,3 / 61	0,6 / 102	0,42 / 73,6	550

Вертикальная зональность пробности и величин ТЭДС изучены по рудной зоне №I и жиле Кокуйской (табл. 53).

Таблица 53

Величины ТЭДС и пробности золота по рудной зоне №I и жиле Кокуйской

Местоположение	Число определений	ТЭДС, мв			Пробность
		от	до	среднее	
Жила Кокуйская	33	0,12	0,36	0,24	730
Рудная зона №I					
гор. 126 м	20	0,42	0,84	0,60	358
гор. 166 м	27	0,30	0,60	0,48	500
гор. 216 м	231	0,18	0,64	0,36	615
гор. 266 м	38	0,0	0,48	0,24	730

Данные табл. 51–53 вполне определенно свидетельствуют о повышении пробности золота на глубину, т.е. о наличии ее зональности по вертикали. Градиенты изменения пробности колеблются от 23 до 28 ед/100 м по вертикали, при этом значение градиента пробности на глубоких горизонтах ниже, чем на верхних.

На золото-серебряном месторождении Чадак Авериным также установлено увеличение пробности золота на глубину: гор. 1675 м — 500–600 (ср. 569), гор. 1575 м — 552–688 (ср. 697), величина градиента 13 ед/100 м.

А.А. Иванов и А.П. Переляев [1941] отмечают, что проба золота Березовского месторождения (Урал) изменяется от 850-875 на верхних горизонтах до 917-942 на нижних. Золото верхних горизонтов Андреевского месторождения имеет пробу 650 (II генерация), а нижних — 750, приблизительный градиент пробности составляет 5-7 ед/100 м. На Сарале пробность золота верхних горизонтов — 600-650, нижних — 750-800, при этом коэффициент вариации содержаний золота на верхних горизонтах 200-400%, на нижних — 80-130%. На месторождениях Приамурья В.Г. Моисеенко [1965] установил уменьшение пробности золота от 833-870 (гл. 50 м) до 800-850 (гл. 300 м) при градиенте 1-2 ед/10 м. В зоне окисления пробность повышается до 900-915. В рудных столбах пробность 900, на флангах жил — 800. В контакте с пострудными дайками пробность золота возрастает: контакт — 887, в 50 м от контакта — 858, в 120 м от контакта — 838. Для месторождения Мурунтауского поля Р.П. Бадаловой установлено падение пробности от 898 (52 определения) на поверхности до 892 (56 опр.) на первом горизонте и до 888 (18 опр.) на втором.

Ю.С. Берман [1969] описывает особенности золота близповерхностных месторождений Северо-Востока СССР. Он отмечает увеличение пробности на глубину от 443 до 720 при переходе от золото-аргентитового к золото-арсенопиритовому типу оруденения с одновременным ростом крупности выделений. На глубину исчезают зональные внутренние микроструктуры золотин, столь характерные для близповерхностных условий. Меняется и характер элементов-примесей — от серебра, сурьмы, ртути в верхней части колонны зональности до свинца, меди, мышьяка, серебра — в нижней.

Т. Хьюгс [Geology..., 1953] приводит данные об изменении золота на руднике Нью-Пинафор (Австралия). Здесь установлено падение пробности от 953 до 850 в интервале 400 м по вертикали при незакономерном изменении содержаний золота в рудах (табл. 54).

Таблица 54

Измерение содержаний и пробности золота в рудах месторождения Нью-Пинафор

Горизонт, м	Содержание золота, г/т	Состав золота в весовых частях			
		золото		серебро	
		от	до	от	до
0-100	-	0,955	0,900	0,035	0,065
300	9,5				
340	6,5				
425	8,25	0,925	0,850	0,03	0,055
465	2,5				
510	7,0				
580	9,75	0,875	0,900	0,035	0,065

Э. Эдвардс [Geology..., 1953] отмечает падение пробности на месторождении Масина (Австралия) от 903 на поверхности до 883 на глубине 400 м при неизменном содержании золота 20-30 г/т. На месторождении Кройдон (Австралия) золото имеет

весьма непостоянную пробность. В жиле Голден Гейт Консолс проба падает от 635 (глубина 0-75 м) до 445 (глубина 150 м); на руднике Тру Блю — от 880 (поверхность) до 585 (глубина 120 м), на руднике Леди Мэри — 600 и 510 соответственно. А. Эдвардс связывает это явление с гипергенными процессами. Аналогичные данные Дж. Колдгама [Geology..., 1953] по месторождению Маунт Кулон, Австралия (табл. 55).

Таблица 55

Изменение пробности золота на месторождении Маунт Кулон [Geology..., 1953]

Горизонт, м	Среднее содержание золота, г/т	Пробность	Примечание
17	-	903	Вторичное золото
34	-	920	Вторичное золото
40	32	839	Окисленные руды
78	4	970	Окисленные руды
100, восточный фланг	40	725	Полуокисленные руды
100, западный фланг	20	700	Полуокисленные руды
100, центр	9	450	Полуокисленные руды

По данным К. Мортона [Geology..., 1953], среднее содержание золота в окисленных рудах этого месторождения составляло 18 г/т (проба 647), в первичных рудах — 9,5 г/т (проба 500).

По данным К. Фрэзера [Geology..., 1953], на месторождении Мэни пробность золота с глубиной растет от 650-700 до 722-806 в интервале первых сотен метров. На месторождении Кракоу (Австралия) пробность золота меняется от 970 (поверхность) до 350 (глубина 300 м). Данные Р. Фишера по месторождению Хомстейк (Дакота, США), приведенные Ч. Парком и Мак-Дормидом [1966], показывают колебания пробности золота в связи с глубиной и крупностью выделений (табл. 56). Как видно, пробность крупных золотин с глубиной возрастает на 10 единиц. При этом в золоте увеличивается содержание примесей других элементов (исключая серебро).

Таблица 56

Изменение пробности и состава золота с глубиной на месторождении Хомстейк

Местоположение проб	Размер частиц золота	Пробность	Содержание, %		
			серебра	других элементов	Au/Au+Ag
Поверхность	Крупные	831	169	-	831
	Средние (<100 меш)	823	117	-	823
	Мелкие (>100 меш)	819,5	176,2	4,3	823
Горизонт 130-200 м	Крупные	840	151	-	849
	Средние (<150 меш)	832	163	5	936
	Средние (<100 меш)	829	163	8	835
	Мелкие (>100 меш)	823	178,3	3,7	826
Горизонт 340 м и ниже	Крупные	841	158	1	842
	Средние (<100 меш)	834	159,3	6,7	839
	Мелкие (>100 меш)	823	166,8	10,2	831
Среднее по месторождению		835	161	4	834
Среднее по размерам золотин	Очень крупные (20-40 мг)	840	157	3	841
	Крупные (5-10 мг)	840	151	9	848
	Средние (<100 меш)	825	172	3	828
	Мелкие (>100-200 меш)	814	164	22	832
	Очень мелкие (>200 меш)	797	161	42	832

В. Линдгрен [1948] для месторождения Националь отмечает увеличение пробности золота от 435 (поверхность) до 532 (глубина 300 м). Р. Харгривс [Hargraves, 1963] показал, что для каждого "рифа" месторождений Рэнда среднее содержание серебра в золоте является функцией положения в пространстве: для наиболее высокорасположенных частей "рифов" содержание серебра выше, чем для наиболее глубинных. Г. Раден на основе анализа данных за период 1922-1960 гг. по 12 месторождениям Рэнда отрицает эту зависимость и указывает на весьма значительные колебания пробности, затрудняющие возможность уловить связь между пробностью и глубиной. Это обусловлено также и характером исходных данных — значения кажущейся пробности получены по разным месторождениям с помощью цианирования и амальгамации.

Интересные результаты при изучении золото-серебряного отношения и пробности золота получены А. Фитцжеральдом и др. [Fitzgerald et al., 1967] по золоторудным месторождениям района Вал д'Ор (Квебек, Канада). Было установлено закономерное возрастание этих величин, на глубину 0-900 м по месторождениям Сигма, Ламак, Керр Эдисон, О'Брайен, уменьшение — по месторождениям Райт Харгривс, Лэйкшор и Макасса, постоянство — по месторождениям Восточный и Канадский Малартик. При статистической обработке данных по месторождениям Сигма и Ламак отмечен волновой характер изменения величин золото-серебряного отношения на глубину. Детальное изучение пробности золота по жиле №35 месторождения Ламак выявило значительные колебания пробности и золото-серебряного отношения. Вместе с тем общая тенденция увеличения пробности золота с глубиной довольно отчетлива.

Пирит. Изучению геохимии пиритов золоторудных месторождений посвящена довольно обширная литература. Одно из последних обобщений — монография "Пириты золоторудных месторождений" [1993], к которой мы отсылаем читателя. Вопросы зональности распределения элементов-примесей пиритов в объеме месторождений пока изучены слабо. Вместе с тем очевидно, что поскольку пирит является наиболее распространенным и "сквозным" минералом в рудах месторождений золота, он несет весьма обширную информацию об условиях образования этих руд. В последние годы разработан метод пиритной съемки и доказана высокая его эффективность при поисках и оценке месторождений многих металлов.

Геохимия пиритов золоторудных месторождений в настоящее время изучается систематически. Нами этот вопрос исследован на месторождениях Казахстана.

Геохимия пиритов золото-сульфидных месторождений Бакырчикского рудного поля Восточного Казахстана оказалась очень сложной. Установлены весьма широкие пределы колебаний содержаний элементов-примесей и закономерные их изменения в зависимости от времени выделения, крупности и морфологии зерен, положения в той или иной части месторождения или рудного поля (табл. 57).

Минералогическими исследованиями установлено наличие трех морфогенетических групп пиритов — агрегативных по глобулярным (АГ), кубических (КБ) и пентагондодекаэдрических (ПТ). Пириты АГ являются дорудными образованиями. Для них характерны, как правило, пониженные по сравнению с другими содержания элементов-примесей. Не наблюдается определенной зависимости между содержанием элементов-примесей и размерностью выделений. Представляется, что характер распределения примесей в пиритах АГ определяется составом пород, вмещающих оруденение, а также случайными наложениями минерализации рудной стадии. Пириты КБ являются полигенными образованиями. Они формировались на всех стадиях, о чем свидетельствуют данные изучения минералогии руд. В связи с этим картина распределения примесей в них сложна. Пириты КБ обогащены по сравнению с другими свинцом, кобальтом, никелем, вольфрамом, иногда цинком, селеном, что мы связываем с принадлежностью части из них к рудной стадии. Устанавливается ряд четко выраженных тенденций изменения содержаний примесей от мелких (0,05 – 0,2 мм) к крупным (

1-2 мм) классам (табл. 58). Отчетливое накопление в мелком классе установлено для меди, сурьмы, никеля, вольфрама. Это явление мы связываем с автолизией выделений пирита КБ в процессе многократной перекристаллизации.

Пирит ПТ образуется в собственно рудную стадию. Его состав наиболее четко отражается особенностями рудного процесса, в связи с чем практическое значение пирита ПТ при поисках и оценке являются важнейшими. В пиритах ПТ накапливаются медь, мышьяк, сурьма, серебро, золото, селен, теллур. Зависимости их содержаний от крупности выделения не отмечается.

Зональное распределение примесей в пиритах изученных месторождений Бакырчикского рудного поля по ряду элементов выражено отчетливо. Не противоречащие геологическим представлениям данные о зональности установлены для следующих элементов-примесей во всех пиритах: медь, цинк, мышьяк, сурьма, кобальт, серебро, вольфрам. Для пиритов ПТ наиболее характерно поведение мышьяка, сурьмы, серебра, вольфрама. Указанные элементы могут быть использованы в комплексе с другими данными как индикаторы глубины среза. Аналогичны данные изучения ТЭДС.

Жильные месторождения Калбы имеют более четкую зональность распределения элементов-примесей. Работами А.М. Мысника и нашими показано, что в общей колонке вертикальной зональности месторождений Юго-Восточной Калбы выявляются четкие различия в спектре и содержаниях элементов-примесей пиритов. В пиритах из самых нижних зон колонки накапливаются хром, никель, кобальт, мышьяк, вольфрам, олово, висмут. Пириты вышерасположенной кварц-полисульфидной зоны характеризуются повышенным содержанием свинца, меди, цинка, а золото-сурьмяной зоны — серебра, кадмия, сурьмы, иногда теллура и таллия. Данные о средних содержаниях приведены в таблице 59.

Детальное изучение распределения примесей в пиритах месторождения Р е т и в ы й (Кулуджунское рудное поле) подтвердило общую закономерность. Были отобраны пириты из различных частей рудной зоны, характеризующие все части колонки зональности. Кварц-пирит-пирротиновая (с магнетитом) зона характеризуется малым набором элементов, низкими дисперсиями и повышенными содержаниями хрома, кобальта, титана в пиритах. Для зоны полисульфидов характерно присутствие в повышенных количествах свинца, цинка, меди, серебра, сурьмы, теллура, мышьяка, вольфрама. В верхней — карбонатно-антимонитовой зоне в пиритах постоянно присутствует сурьма, серебро, никель, мышьяк, иногда ртуть, таллий, галлий (табл. 60).

Из таблицы 60 нетрудно видеть, что распределение элементов-примесей в пиритах рудной зоны адекватно размещению минеральных ассоциаций и отвечает геохимической зональности.

В пиритах продуктивной стадии жил месторождения Бестюбе Северного Казахстана установлены закономерные вариации содержаний золота, серебра, свинца, цинка, меди, мышьяка, сурьмы, ртути, кобальта, титана (табл. 61). Несмотря на ограниченное число анализов, можно видеть закономерную связь изменения содержаний элементов по вертикали с минеральной и температурной зональностью.

Вместе с тем, нельзя не обратить внимание на ряд особенностей поведения элементов-примесей пиритов из жил и брекчиевых труб. Прежде всего, в пиритах последних выше на 1-2 порядка содержания золота, мышьяка, титана, что вообще характерно для минерализованных зон. Обратную тенденцию в поведении на глубину имеет цинк, медь, никель. Природа этого явления пока не изучена.

Не являются исключением из правила данные по пиритам месторождений Жолымбетского поля (таблица 63).

Таблица 57

Содержания элементов-примесей в пиритах различного габитуса и классов крупности из руд месторождений Бакырчикского рудного поля (по М.М. Старовой)

Месторождение	n	Класс мм	Элементы							
			Cu	Pb	Zn	As	Sb	Co	Ni	Ag
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I. Агрегативный по глобулярному										
Загадка	5	II	40	3	9	45	0,75	4,5	9	-
	3	III+IV	300	40	50	500	5	25	300	0,3
Бакырчик	15		65	30	50	250	17	5	54	0,7
	20	II	40	22	250	300	20	16	27	0,75
Глубокий Лог	5	II	20	15	25	125	10	8	25	0,75
	2	III	47	50	35	350	35	6	34	0,05
Промежуточное	3	II	20	42	2	115	20	1,25	2,25	0,04
II. Кубический										
Загадка	8	I	200	40	40	450	-	55	90	0,55
	8	II	125	75	95	700	12	9	16	0,42
	8	III	105	95	80	450	7	6	25	0,70
	8	IV	65	90	125	400	55	20	29	0,6
Бакырчик	4	I	160	200	50	900	500	34	125	0,30
	20	II	105	270	20	500	50	40	62	0,34
	6	III	27	310	15	400	35	9	27	0,04
	5	IV	40	125	7	130	25	9	12	0,05
Глубокий Лог	8	I	70	500	50	300	30	8	30	0,14
	5	II	40	80	43	160	10	7	21	0,11
	1	III	100	300	120	400	10	25	40	0,20
	4	IV	80	120	45	270	25	14	17	0,04
Промежуточное	2	I	55	35	130	200	12	5	44	0,09
	2	II	65	45	55	650	12	9	38	0,06
	2	III	40	55	80	650	12	3	7	0,12
	2	IV	50	95	105	125	11	2	19	0,12
Сарбас	4	II	15	35	110	400	50	17	37	0,06
III. Пентагондодекаэдрический										
Бакырчик	30	I	170	55	54	900	64	16	50	1
	18	II	60	17	39	1000	275	5	20	0,3
	1	III	80	70	25	800	250	10	25	0,8
Глубокий Лог	2	I	39	35	62	700	32	26	25	0,54
	14	II	90	55	95	800	50	23	23	0,65
Промежуточное	4	I	45	72	45	750	35	9	22	0,17
	4	II	30	35	60	750	27	3	6	0,65
	2	III	90	55	70	650	32	3	17	0,54
Сарбас	3	I	12	17	95	700	25	15	25	0,08

Примечание: Классы крупности: I - 0,005-0,2 мм, II - 0,2-0,5 мм, III - 0,5-1,0 мм и IV - 1,0-2,0 мм.

Таблица 58

Средневзвешенные содержания и отношения элементов-примесей в пиритах различного габитуса из руд месторождений Восточного Казахстана (по М.М. Старовой и автору)

№№ п/п	Месторождения		Число проб	Содержания, г/т							
				Cu	Pb	Zn	As	Sb	Co	Ni	Ag
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Загадка	АГ	8	125	17	24	210	2	9	118	0,11
		КБ	32	125	75	85	500	18	22	40	0,55
2	Бакырчик	АГ	55	50	25	160	275	11	11	38	0,73
		КБ	45	71	248	20	475	30	30	56	0,24
		ПТ	89	128	41	46	150	12	12	38	0,76
3	Глубокий Лог	АГ	7	28	25	27	185	17	8	0,55	17
		КБ	48	65	286	51	260	22	10	0,11	68
		ПТ	26	84	50	90	825	48	23	0,61	194
4	Промежуточное	АГ	5	20	42	2	115	20	1	2	0,04
		КБ	18	55	75	92	380	12	5	25	0,10
		ПТ	10	48	53	56	730	31	6	14	0,43
5	Сарбас	КБ	14	15	35	110	400	50	17	37	0,06
		ПТ	5	12	17	95	100	25	15	25	0,08

Примечание: Пириты: КБ - кубический, ПТ - пентагондодекаэдрический, АГ - агрегативный по глобулярному.

Таблица 57 (продолжение)

Элементы							
Au	Sn	W	Se	Te	Co/Te	Se/Te	Ag/Au
12	13	14	15	16	17	18	19
I. Агрегативный по глобулярному							
8,5	0,2	7,5	-	-	0,4	-	0,19
-	1,5	6	20	-	0,29	20	0,38
15	0,5	15	12	2,5	0,27	5	0,041
25	0,2	4	-	-	0,34	-	0,08
15	-	5	-	-	0,7	-	0,13
20	0,5	1,5	-	-	0,5	-	0,16
5	0,2	-	-	-	0,6	-	0,03
II. Кубический							
32	0,2	6	55	5	1,6	11	0,15
85	0,2	10	45	5	1,08	9	0,2
105	1,7	3	40	0	0,45	40	0,08
40	0,8	120	30	5	0,4	6	0,15
10	0,3	50	75	7	0,44	30	0,27
40	0,3	50	76	2	0,357	31	0,37
7	0,2	2	9	3,6	0,5	2,5	0,11
2	2	-	2	2,5	0,75	1	0,60
90	4	50	24	2	0,3	9	0,006
55	-	10	55	5	0,29	11	0,04
30	-	-	45	5	0,4	9	0,03
50	1,2	2	40	5	1,25	8	0,07
12	0,3	-	10	5	0,17	2	0,02
12	0,5	6	10	8	0,8	1,2	0,02
11	0,6	2	15	6	0,13	2,5	0,03
5	0,2	2	-	-	0,12	-	-
10	0,2	-	72	-	0,56	-	0,06
III. Пентагондодекаэдрический							
190	0,5	7	80	33	0,3	2,5	0,037
95	-	2	120	90	0,31	1	0,053
100	-	-	20	4	0,4	5	0,01
155	-	-	20	2	0,19	-	0,025
200	-	5	4	-	0,22	-	0,075
200	0,3	-	140	20	0,215	7	0,025
200	0,25	2,5	80	62	0,5	1,3	0,030
95	1,75	0,5	70	5	0,14	1,4	0,08
125	0,2	-	72	25	0,6	2,8	0,0005

Таблица 58 (продолжение)

Содержания, г/т							
Au	Sn	W	Se	Te	Co/Ni	Se/Te	Ag/Au
12	13	14	15	16	17	18	19
5	0,8	7	3	-	0,35	-	0,27
65	0,7	35	42	5	0,9	17	0,14
20	0,3	8	6	1	0,30	2	0,07
25	0,5	34	53	2,2	0,44	24	0,34
153	0,1	5	93	53	0,30	2	0,04
0,5	4	-	-	4	0,51	9	0,14
2,0	25	37	4	0,1	0,21	-	0,05
-	4	5	0,1	-	0,60	-	0,05
5	0,2	-	-	-	0,60	-	0,03
10	0,4	2	9	5	0,33	1,4	0,02
180	0,6	1	100	33	0,31	1,4	0,04
10	0,2	-	72	-	0,56	-	0,06
125	0,2	-	72	25	0,60	2,8	0,005

Таблица 59

Содержание элементов-примесей (г/т) в пиритах золоторудных месторождений Юго-Восточной Калбы (по А.М. Мыснику, с дополнениями автора)

Элементы	Месторождения и число проб				
	1 (10)	2 (38)	3 (85)	4 (28)	5 (28)
Золото	14,8	22,4	79	48,6	63,3
Таллий	-	-	6,3	1	1,5
Свинец	40	17	14	32	27
Цинк	100	40	80	80	60
Кадмий	-	-	0,42	-	-
Медь	35	36	84	66	57
Висмут	1,4	0,02	-	-	0,01
Никель	7	15	16	23	12
Сурьма	-	-	135	160	50
Хром	20	15	10	12	8,0
Кобальт	3	16	10	8	7
Мышьяк	30	28	240	1000	1000
Галлий	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8
Олово	1,4	0,4	0,8	0,05	-
Вольфрам	10	20	-	-	-
Фосфор	75	84	-	-	-
Германий	0,2	0,2	-	-	-

Примечание: месторождения по уменьшению относительной глубины: 1 - Баладжал, 2 - Кулуд-жун, 3 - Сомнительное, Ретивый, 4 - Теректы, 5 - Джумба.

Таблица 60

Содержание элементов-примесей в пиритах различных частей месторождения Ретивый

Элементы (г/т)	Зоны					
	кварц-пиритовая		полисульфидная		антимонитовая	
Золото	40	120,0	15	18,0	15	125,0
Серебро	5	5,0	18	36,0	20	54,0
Свинец	10	15,0	40	60,0	5	15,0
Цинк	60	45,0	35	100,0	н.о.	-
Медь	40	55,0	27	48,0	5	10,0
Никель	8	42,0	10	26,0	3	3,0
Кобальт	25	40,0	10	12,0	10	10,0
Хром	40	35,0	10	15,0	10	10,0
Мышьяк	100	400,0	400,0	350	800	2560,0
Сурьма	н.о.	-	120	620,0	200	1570,0
Ртуть	н.о.	-	н.о.	-	0,06	0,138
Галлий	н.о.	-	н.о.	-	0,8	1,6
Таллий	н.о.	-	н.о.	-	4	18,7
Титан	400	150,0	100	150,0	н.о.	-
Вольфрам	1	5,0	5,0	12,5	н.о.	-
Висмут	3	4,0	4,0	10,5	н.о.	-

Таблица 61

Содержания элементов-примесей в пиритах рудной стадии (жилы Южные)

Элементы (г/т)	Горизонты, м (число опр.)							
	205 (5)	250 (3)	295 (6)	340 (3)	385 (3)	430 (2)	475 (2)	520 (1)
Золото	5	7	8	10	10	12	25	50
Серебро	20	30	25	15	12	10	10	5
Свинец	40	20	125	20	18	10	10	6
Цинк	н.о.	н.о.	20	40	40	60	120	200
Медь	10	7	8	10	22	150	30	60
Мышьяк	100	100	150	200	200	250	300	400
Сурьма	250	150	150	100	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Ртуть	0,15	0,10	0,06	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Никель	5	15	10	8	5	3	15	3
Кобальт	10	10	20	120	35	130	150	180
Хром	10	10	10	10	20	20	40	40
Титан	100	100	150	200	1200	2000	3000	5000
Вольфрам	н.о.	н.о.	1	5	5	3	8	5
Висмут	н.о.	1	12	1,5	н.о.	н.о.	1	н.о.

Здесь также отчетливо возрастают на глубину содержания золота, мышьяка, кобальта, никеля и титана (табл. 62).

Таблица 62

Содержание элементов-примесей в пиритах зоны Дальней (по А.А. Шиганову и др.)

№№ п/п	Горизонт, м	Элементы, г/т										
		n	Au	Ag	As	Zn	Pb	Cu	Mo	Co	Ni	Ti
1	205	2	>10	>2	$>10^4$	150	30	150	0,5	20	80	500
2	295	11	84	2	4.10^4	94	145	98	0,04	144	154	4100
3	340	10	94,5	3,2	5.10^4	44	58	95	0,53	955	178	6000

Вместе с тем, нельзя не обратить внимание на ряд особенностей поведения элементов-примесей пиритов из жил и брекчиевых труб. Прежде всего, в пиритах последних выше на 1-2 порядка содержания золота, мышьяка, титана, что вообще характерно для минерализованных зон. Обратную тенденцию в поведении на глубину имеет цинк, медь, никель. Природа этого явления пока не изучена.

Не являются исключением из правила данные по пиритам месторождений Жолымбетского поля (табл. 63).

Таблица 63

Содержание элементов-примесей в пиритах минерализованных зон Центрального участка (по А.А. Шиганову и др.)

№№ п/п	Горизонт, м	n	Элементы, г/т								
			Au	Ag	Pb	Zn	Cu	As	Bi	Sb	Co
1	320	4	9	11,9	230	95	130	530	21	130	700
2	350	4	11	4,9	170	90	230	2770	20	120	800
3	390	9	18	25,1	60	170	1350	3240	19	70	1100

Схема вертикальной зональности элементов-примесей в пиритах, характерная для глубинных месторождений, сохраняется и в близповерхностных условиях. Нами детально изучались пириты месторождения Архарлы. Для пиритов из пропилитов в интервале глубин 0-150 м не выявлено зональных изменений содержаний примесей. Для руд с четкой минеральной зональностью изменение содержаний примесей в пиритах закономерно (табл. 64).

Таблица 64

Изменение средних содержаний-примесей в пиритах месторождения Архарлы

Зоны, число проб	Глубина, м	Содержание, г/т						
		золото	серебро	медь	свинец	цинк	никель	кобальт
Кварц-адуляр-полисульфидная (22)	0-65	12	150	30	20	н.о.	5	н.о.
Кварц-полиметаллическая (15)	65-150	15	100	50	90	20	35	5
Кварц-пиритовая (7)	150-200	30	10	50	10	40	50	15

Анализ литературных данных показывает, что описанные закономерности характерны для многих золоторудных месторождений. Происходит закономерное (преимущественно нелинейное) уменьшение на глубину содержаний серебра, таллия, ртути, сурьмы, кадмия, индия, марганца и повышение — олова, мышьяка, германия, молибдена, титана, хрома, кобальта. Обобщение данных по 10 золотым, 25 медным, 12 полиметаллическим, 6 оловянным и 2 ртутным месторождениям показывает, что в пиритах верхних частей рудных тел накапливается ртуть, серебро, свинец, таллий, кадмий, индий, сурьма, а нижних — кобальт, мышьяк, олово, титан, вольфрам.

Арсенопирит. Зональность распределения элементов-примесей в арсенопиритах золоторудных месторождений изучена слабо, хотя данные об их содержаниях довольно многочисленны. Нами было предпринято изучение этого вопроса на месторождениях Бакырчикского рудного поля Восточного Казахстана и Васильковского месторождения в Северном Казахстане. На месторождениии Бакырчик и других выделено несколько разновидностей арсенопирита, из которых игольчатый и призматический наиболее распространены. Данные о содержаниях примесей в них приведены табл. 65. В зональном ряду месторождений рудного поля (снизу вверх) содержания примесей в арсенопиритах изменяются закономерно. Для игольчатых (рудных) арсенопиритов происходит снижение содержаний меди, цинка, олова, никеля, золота и неясное повышение содержаний серебра, кобальта. При этом наиболее устойчивы изменения цинка, кобальта, олова, серебра, золота. Эту картину отражают значения ТЭДС. Зависимости имеют сложную природу и меняются по времени выделения, степени перекристаллизации, крупности зерен и т.д. Так, например, в игольчатых арсенопиритах происходит снижение содержаний сурьмы, золота, свинца, кобальта, никеля, олова и возрастание селена и теллура в направлении от мелких (0,02–0,2 мм) к крупным (1-2 мм) классам, в то время как по другим объектам наблюдается иная картина. В пределах одного месторождения картина зональности не менее сложная. Так, для Центрального рудного тела установлено повышение средних содержаний золота, серебра, свинца, кобальта, марганца и сурьмы, а также их дисперсий, на верхних горизонтах, а цинка, меди, никеля, ванадия — на нижних (табл. 66).

Таблица 65

Средние содержания элементов-примесей в арсенопиритах различного габитуса месторождений Бакырчикского рудного поля (по М.М.Старовой и автору)

Месторож-дение	Число проб	Содержания, г/т											
		Co	Pb	Zn	Sb	Co	Ni	Ag	Au	Sn	W	Se	Te
Призматический													
Загадка	4	35	50	320	100	3	75	0,06	250	0,5	10	-	-
Бакырчик	71	30	14	42	184	7	42	0,23	217	-	6	32	6,2
Глубокий Лог	6	104	48	45	30	12	47	1,0	280	-	-	15	1,8
Промежуточное	5	33	19	19	16	13	32	0,45	240	0,1	6	25	3
Игольчатый													
Бакырчик	45	70	150	100	160	28	135	0,70	550	1,06	-	30	6
Глубокий Лог	5	28	51	29	26	25	48	0,44	290	-	4	-	1
Промежуточное	12	30	46	13	38	10	44	0,34	217	1,2	2,5	20	5
Сарбас	3	30	27	35	250	4	12	0,80	150	0,5	-	40	14

Таблица 66

Содержание примесей в арсенопиритах Центрального рудного тела Бакырчикского месторождения

Элементы, г/т	Горизонты			
	Верхние (65-200 м) (10 проб)		Нижние (>200 м) (8 проб)	
	$\bar{x}$	$S_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$S_{\bar{x}}$
Золото	255	550	310	350
Серебро	15	100	5	30
Свинец	20	410	50	60
Цинк	40	600	150	480
Медь	30	60	110	100
Кобальт	45	70	15	80
Никель	40	200	120	160
Ванадий	15	40	35	40
Марганец	200	600	100	200
Сурьма	100	1450	20	160

Следует заметить, что, как правило, изменения содержаний с глубиной немонотонны. В связи с этим рассчитывались коэффициенты зональности ν. Выяснено, что ν меняется очень контрастно в пределах 2–0,0002 и может быть использован при решении практических задач.

На Васильковском месторождении содержания примесей (табл. 67) и зональность распределения иные.

Таблица 67

Содержание элементов-примесей в арсенопиритах Васильковского месторождения (117 проб)

Элемент	Содержание, г/т		
	от	до	среднее
Золото	2,2	190	43,7
Платина	0,12	0,48	0,38
Молибден	20	115	45
Олово	20	190	30
Свинец	25	140	50
Медь	10	135	65
Серебро	5	90	22
Кобальт	20	1130	200
Цинк	150	500	400
Висмут	20	240	90
Никель	н.о.	400	80
Селен	35	67	50
Теллур	20	146	30

Детальные исследования геохимической зональности рудных тел Васильковского месторождения А.А. Шигановым, сопровождаемые изучением примесей в концентратах арсенопирита, выявили сложную картину. Золото и серебро, связанные с сульфидом мышьяка, имеют сравнительно закономерное поведение (табл. 68). Остальные элементы, образующие собственные сульфиды, сложно распределенные по стадиям и в пространстве, дают сложную картину.

Таблица 68

Содержание элементов-примесей в концентратах арсенопиритов Васильковского месторождения (по А.А. Шиганову)

№№ п/п	Горизонты	Содержание, г/т									
		n	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Co	Ni	Bi	Mo
1	60	16	52,8	2,2	32	40	133	164	22	103	22
2	120	17	68,6	1,6	18	36	142	157	16	77	56
3	180	13	62,9	1,1	21	20	42	126	28	57	9
4	300	10	24,3	0,8	46	73	37	257	55	90	33
5	450	7	37,1	0,4	25	67	11	350	70	121	26
6	690	9	18,7	0,2	24	63	10	300	83	164	2

Литературные данные о зональности распределения элементов-примесей в арсенопиритах скудны. Необходимо отметить работы Л.В. Ли, В.Г. Прохорова по месторождениям Енисейского кряжа, Старовой М.М. по месторождениям Казахстана, Силичева М.И., Белозерцевой Н.В. по Якутии, П.С. Бернштейна и др., по Кызылкумам. В целом, зональность примесей в арсенопиритах выражена значительно менее отчетливо, нежели в пиритах, что связано как с его кристаллохимическими особенностями, так и с условиями образования.

Галенит. Поведение примесей в галенитах золоторудных месторождений не изучено. Обширные данные по этому вопросу опубликованы по полиметаллическим месторождениям. Согласно этим данным закономерные изменения с глубиной обнаруживают серебро, сурьма, висмут. Первых два элемента отчетливо накапливаются в галенитах верхних горизонтов месторождений, а висмут — в нижних. При этом градиент содержаний висмута достигает 10÷100 г/т на 100 м. Аналогичные тенденции поведения серебра, сурьмы и висмута установлены нами для галенитов месторождения Архарлы (табл. 69).

Таблица 69

Содержание примесей в галенитах месторождения Архарлы (Северо-Восточный участок)

Горизонт, кол-во проб	Элементы, (г/т)		
	серебро	сурьма	висмут
0-65 м (15 пр.)	520	30	н.о.
65-150 м (13 пр.)	300	10	80
150 м (3 пр.)	170	н.о.	220

Выявленные устойчивые закономерности поведения серебра и висмута могут быть рекомендованы для практического использования, хотя низкая, как правило, распространенность этого минерала в большинстве золоторудных месторождений является существенным ограничением.

Сфалерит. Зональность содержаний примесей в сфалеритах месторождений, в том числе и золоторудных, выражена очень отчетливо. Одним из характерных свойств является железистость сфалеритов, изменяющаяся в широких пределах (от клейофана до марматита) с глубиной. На ряде месторождений установлено возрастание железистости сфалеритов на глубину с градиентами 0,5-1,5% железа на 100 м при различных его валовых содержаниях. Это изменение тесно связано с минеральной зональностью — сменой пиритовых парагенезисов пирротиновыми, полисульфидных — пиритовыми. Другими элементами-примесями, обнаруживающими направленные изменения, являются индий, содержания которого возрастают на глубину при градиентах 0,01-

0,05% на 100 м. Ртуть, кадмий, серебро накапливаются в сфалеритах верхних (полисульфидных) зон месторождений, а индий, кобальт, медь, марганец — в нижних. Аналогично поведение примесей в сфалеритах полиметаллических месторождений, по которым имеется обширная литература.

Сфалериты месторождений золота изучены весьма слабо, однако наши данные свидетельствуют о наличии на них указанных выше закономерностей. Так, по жильному месторождению Бестюбе содержание железа в сфалеритах изменяется от 0,4-0,6 до 3-5% в интервале глубин около 300 м, т.е. градиент составляет 0,6-1,1% на 100 м. Закономерные изменения имеют кадмий, медь, индий, кобальт, ртуть (табл. 70).

Таблица 70

Изменение содержаний примесей в сфалеритах месторождения Бестюбе (уч. Западный)

Жила Южная-4 Гор, (м)	Число проб	Содержания, г/т					
		железо, %	медь	индий	кобальт	ртуть	кадмий
115	2	0,53	12	3	-	2	460
250	8	0,67	20	12	10	0,8	400
295	1	1,35	23	20	30	0,8	340
385	4	4,7	45	35	60	0,6	220

Более высокие градиенты содержаний обнаруживаются на близповерхностных месторождениях Архарлы и Жосабай (табл. 71) при сохранении основных тенденций в поведении указанных выше элементов.

Таблица 71

Изменение содержаний примесей в сфалеритах месторождения Архарлы и Жосабай

Участок, горизонт	Число проб	Содержание, г/т					
		железо, %	медь	свинец	ртуть	кадмий	кобальт
Архарлы, СВ участок,							
- поверхность	7	0,65	40	150	0,8	120	5
- 60 м	8	2,3	120	180	0,4	110	13
- 120-150 м	2	4,7	160	220	-	80	15
Жосабай,	5	0,4	60	80	2,6	570	30
Зона № 1, 2							
- 50-150 м	13	2,8	210	400	0,2	180	130

Анализ литературных данных показывает, что сфалерит, наряду с пиритом, является одним из наиболее “информативных” минералов, использование данных по которому может иметь важное прикладное значение.

Из других сульфидных минералов закономерные изменения примесей в единичных случаях установлены в пирротинах, халькопиритах, тетраэдритах, киновари и других. Однако, ничтожная изученность вопроса оставляет неясной возможности практического использования этих минералов.

Жильные минералы. Распределение примесей в жильных минералах золоторудных месторождений изучено еще хуже, чем в рудных. Вместе с тем, имеющиеся данные свидетельствуют о том, что этот вид геохимической зональности может иметь важное значение.

Нами и Е.В. Бахановой изучено поведение примесей в чистых кварцах месторождений Кулуджунского рудного поля Аймандая, Кудера, Архарлы. Установлено, что поведение примесей в кварцах отражает минеральную и геохимическую зональность,

что неудивительно, если учесть вероятную микроминеральную форму нахождения примесей. В последовательном ряду увеличения глубинности объектов Кулуджунского поля: Бала-Александровка-Ретивый-Варяг происходит закономерное изменение содержаний примесей в кварцах (табл. 72).

Таблица 72

Средние содержания (г/т) примесей в кварцах Кулуджун-рудного поля

Месторождение, число проб	серебро		медь		свинец		мышьяк	
	$\bar{x}$	$S_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$S_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$S_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$S_{\bar{x}}$
Бала (22)	1,7	4,10	10	15	5	9,1	30	35
Александровка (26)	1,2	4,60	8	10	5,6	12,1	60	90
Ретивый (64)	0,95	2,55	12	12	4,4	9,5	80	82
Варяг (39)	0,60	1,43	20	120	2,3	5,3	190	183

На месторождении Бестюбе установлена фрагментарная зональность распределения свинца, мышьяка, серебра в кварцах (табл. 73) и закономерные изменения состава карбонатов жил и метасоматитов.

Таблица 73

Содержания (г/т) примесей в кварцах месторождения Бестюбе

Жила, горизонт, число проб	Элементы						
	Pb	Cu	Ag	Zn	As	Mn	Sb
Жила 182							
гор. 220 м (13 пр.)	23	136	0,03	20	10	60	1,0
гор. 250 м (15 пр.)	60	158	0,38	27	184	107	10
гор. 295 м (8 пр.)	42	39	0,49	38	240	83	н.о.
Жила Южная-4							
гор. 340 м (7 пр.)	н.о.	44	н.о.	н.о.	428	120	н.о.
гор. 385 м (7 пр.)	н.о	23	н.о	н.о.	785	150	н.о.
гор. 340 м (12 пр.)	н.о	840	н.о	н.о.	590	180	н.о.

Для Архарлинского рудного поля наиболее отчетлива зональность в распределении таких примесей как серебро и свинец. Их содержание в кварцах возрастает от нижних частей колонки зональности (Центральный участок) через промежуточные (жила №30, жила №10) к верхним (Северо-Восточный участок). Другие элементы — медь, цинк, молибден, мышьяк, марганец не испытывают закономерных изменений (табл. 74).

Таблица 74

Содержания (г/т) элементов-примесей в кварцах Архарлинского рудного поля

Участок, число проб	Элементы						
	Pb	Ag	Cu	Zn	Mo	As	Mn
Центральный (6)	2	0,1	3	10	1	н.о.	н.о.
Восточный I (3)	2	1,2	2	н.о.	2	н.о.	н.о.
Восточный II (5)	5	1,5	1	10	н.о.	2,0	н.о.
Северо-восточный (22)	12	2,7	4	30	5	10	20

Многочисленные данные по месторождениям Казахстана и других регионов позволяют утверждать, что практическое значение изучения примесей в кварцах состоит лишь в определении степени их "рудоносности" по спектру характерных элементов-примесей. При проведении поисков на основе шлихового минералого-геохимического метода можно рекомендовать использование легкой фракции шлиха для указанных выше целей (совместно с декрепитацией и термолюминесценцией).

Учитывая характер и низкую контрастность проявления зональности, можно констатировать малые возможности использования кварца. Более контрастны изменения состава карбонатов. На месторождениях Кулуджун, Ретивый, Аймандай и других установлена смена сверху вниз кальцита доломитом, сидерита доломитом через промежуточные разности. Аналогичные данные приведены по месторождениям Рейнских сланцевых гор, Северо-Восточного Вьетнама — Део Ан и др., Чехословакии — Рудна-ри и др. [Проблемы..., 1963]. Практическое значение этого критерия, вероятно, невелико, т.к. в большинстве случаев карбонаты представляют послерудную стадию процесса.

Зональность термоэлектрических свойств пирита и арсенопирита

Электрические свойства минералов зависят от их состава, структуры, температуры и других условий образования [Методическое..., 1987]. Для пирита и арсенопирита золоторудных месторождений установлена направленная изменчивость полупроводниковых свойств. Пирит от ранних к поздним парагенезисам и от высоких температур образования к низким изменяет электронный тип проводимости на дырочно-электронный, электронно-дырочный и дырочный. Эта же тенденция характерна для пиритов от корневых к верхним частям месторождений. Для арсенопирита установлена обратная картина.

Связь ТЭДС, состава и температур образования пирита и арсенопирита приведены на рис. 22 и 23.

Зональность ТЭДС сульфидов изучена В.А.Фаворовым на многих месторождениях различных провинций. В качестве примера приведем данные по месторождениям Дарасун и Балей (Забайкалье).

На месторождении Дарасун в вертикальных разрезах установлена концентрическая зональность, подобная зональности рудного поля. В верхних частях и на флангах жил развита пирит-арсенопиритовая ассоциация, а на глубине появляются халькопирит-пирротиновая или халькопирит-тетраэдритовая, сфалерит-галенитовая, халькопирит-бурнонитовая, кварц-сульфоантимонитовая ассоциации. С таким же постоянством меняется тип проводимости пирита (рис. 24): в верхних частях и на флангах жил она дырочного типа, затем развиты кристаллы p-n типа и в центральных частях жил на глубине отмечаются исключительно пириты n-типа. Наиболее золотоносная зона p-n-пирита.

На месторождении Балей ранним ассоциациям присущ p-n-пирит и p-пирит, а в основной продуктивной и послепродуктивной все пириты p-типа. В верхних частях жил отмечают агрегаты p-n марказита, а на глубине — в кристаллах пирита n-ядро облачено p-оболочкой. Арсенопирит представлен электронной разновидностью, дырочно-электронные разновидности отмечены в поздних продуктивных ассоциациях. В одной рудной зоне (рис. 25) рудные столбы характеризуются пиритом и марказитом дырочной проводимости со средними значениями ТЭДС. Между рудными столбами развит пирит и марказит электронно-дырочного типа.

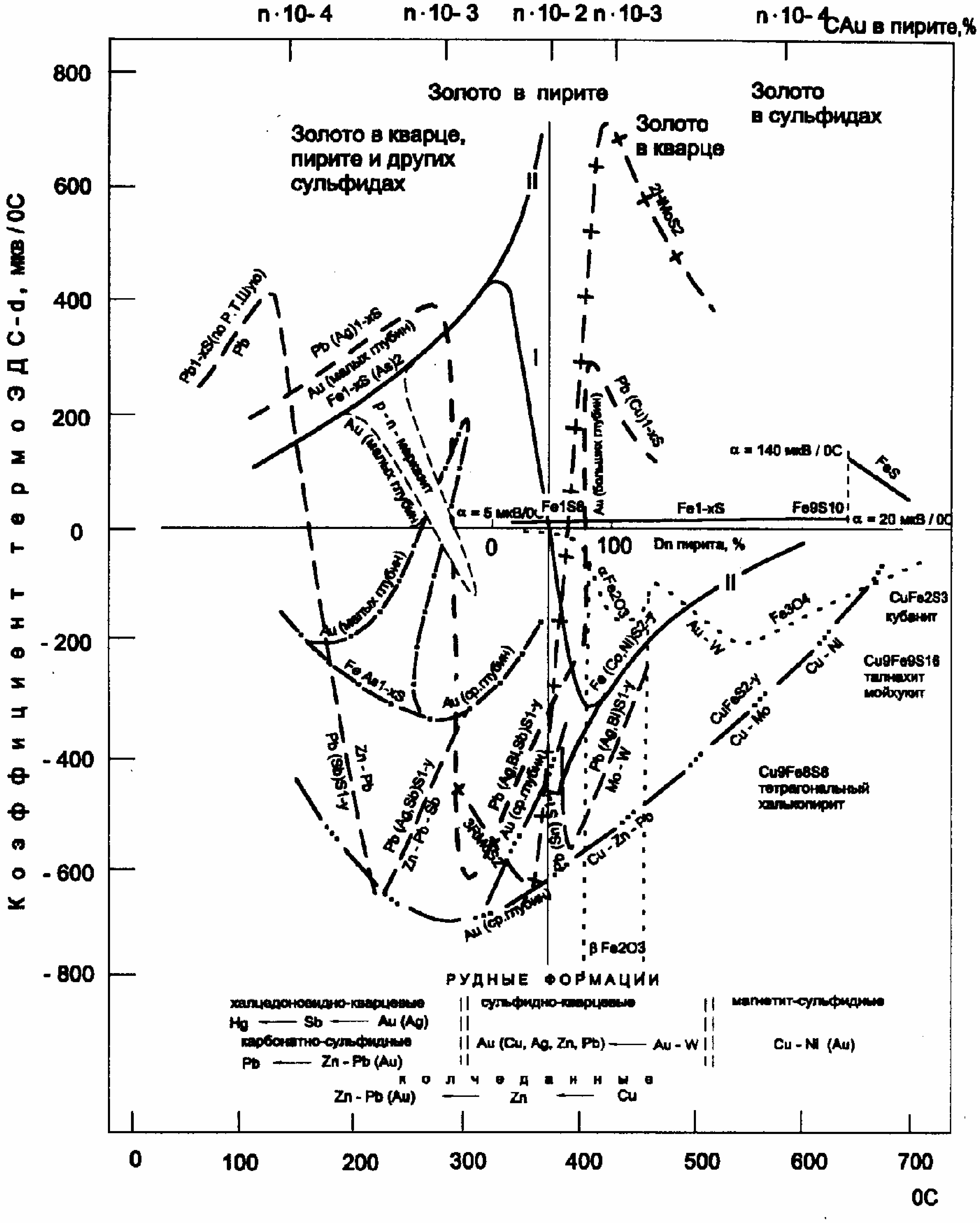


Рис. 22. Диаграмма состояний термоэлектрических свойств пирита золоторудных месторождений (по В.И. Красникову и В.А. Фаворову).

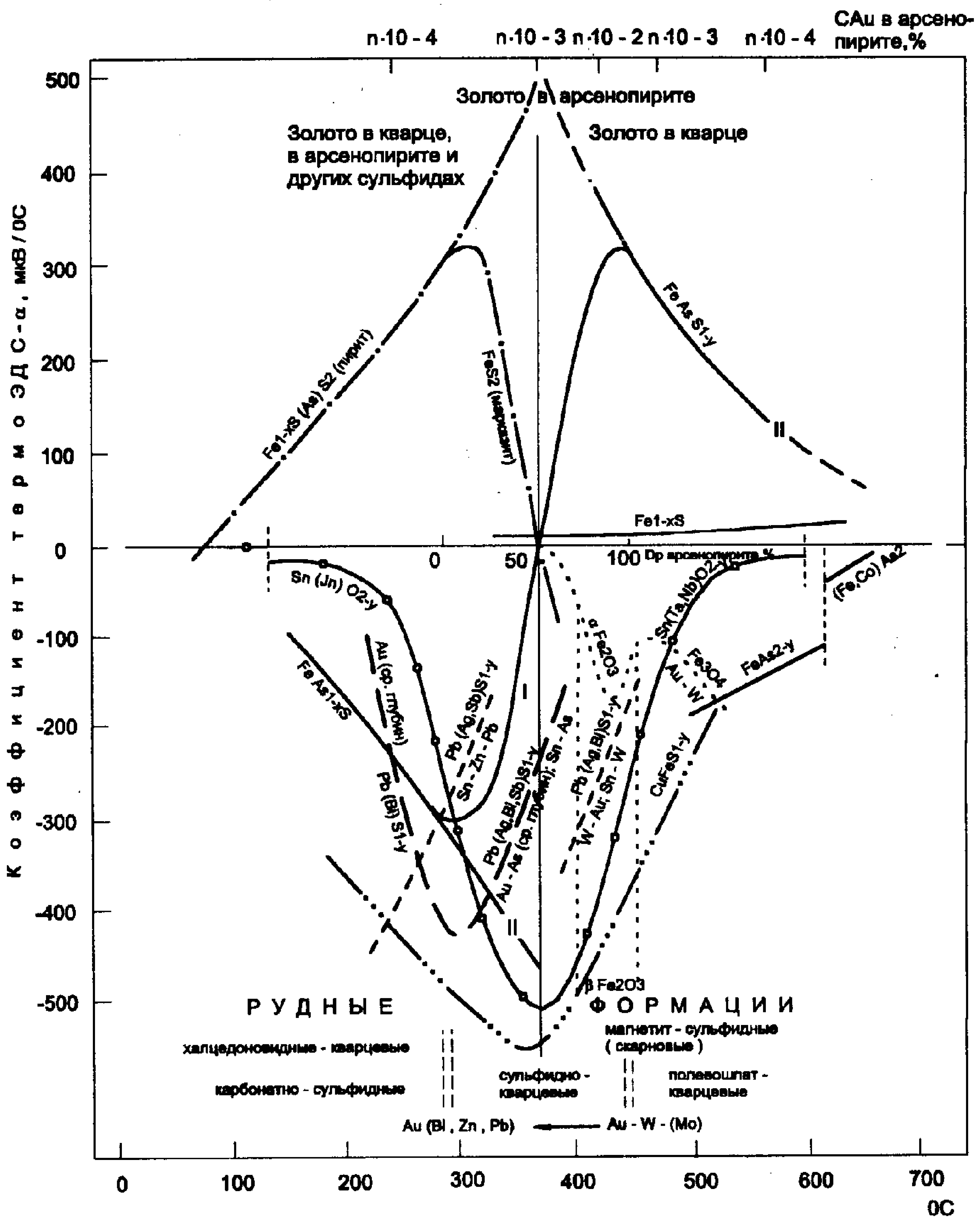


Рис. 23. Диаграмма состояний термоэлектрических свойств арсенопирита золоторудных месторождений (по В.И. Красникову и В.А. Фаворову).

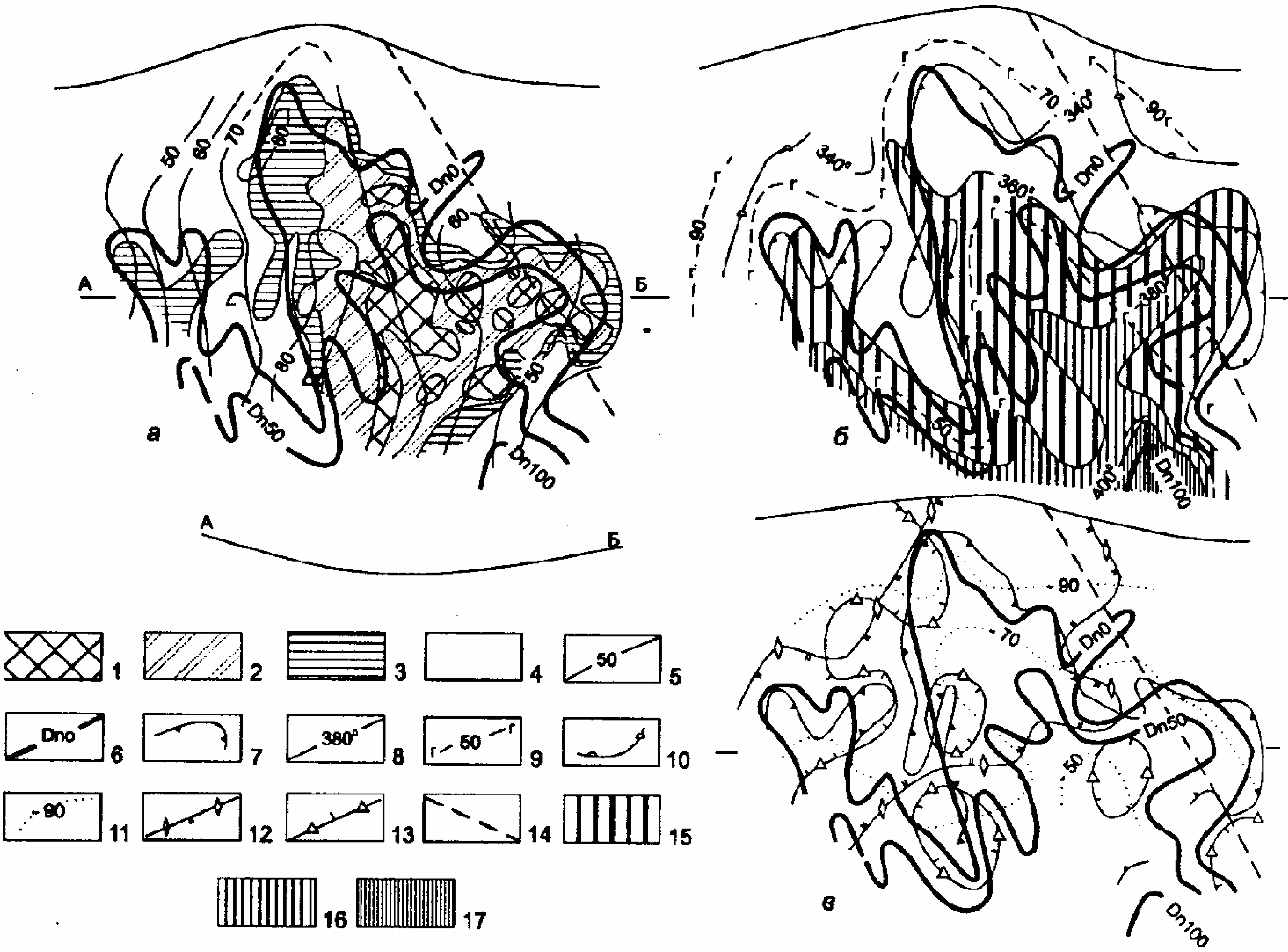


Рис. 24. Сопоставление изменений термоэлектрических свойств рудных минералов и концентраций золота (а), температур гомогенизации ГЖВ кварца продуктивной стадии (б) и минеральной зональности (в) в жиле Лагуновская месторождения Дарасун (по В.А. Фаворову).

1-4 - градации содержаний золота в рудах: 1 - более 100 г/т, 2 - 30-100 г/т, 3 - 10-30 г/т, 4 - менее 10 г/т, 5 - изолонги поверхности жилы; 6 - распространение пирита дырочной проводимости; 7 - контур рудного столба; 8 - изолинии температур гомогенизации ГЖВ кварца; 9 - изолинии значений ТЭДС галенита; 10 - граница зоны поздних карбонатов; 11 - изолинии значений ТЭДС халькопирита; 12 - граница зоны арсенопирита; 13 - то же сфалерита и галенита; 14 - ребро сопряжения с жилой II; 15-17 - интенсивность и значения температур гомогенизации ГЖВ кварца: 15 - 360-380 °С, 16 - 380-400 °С, 17 - свыше 400 °С.

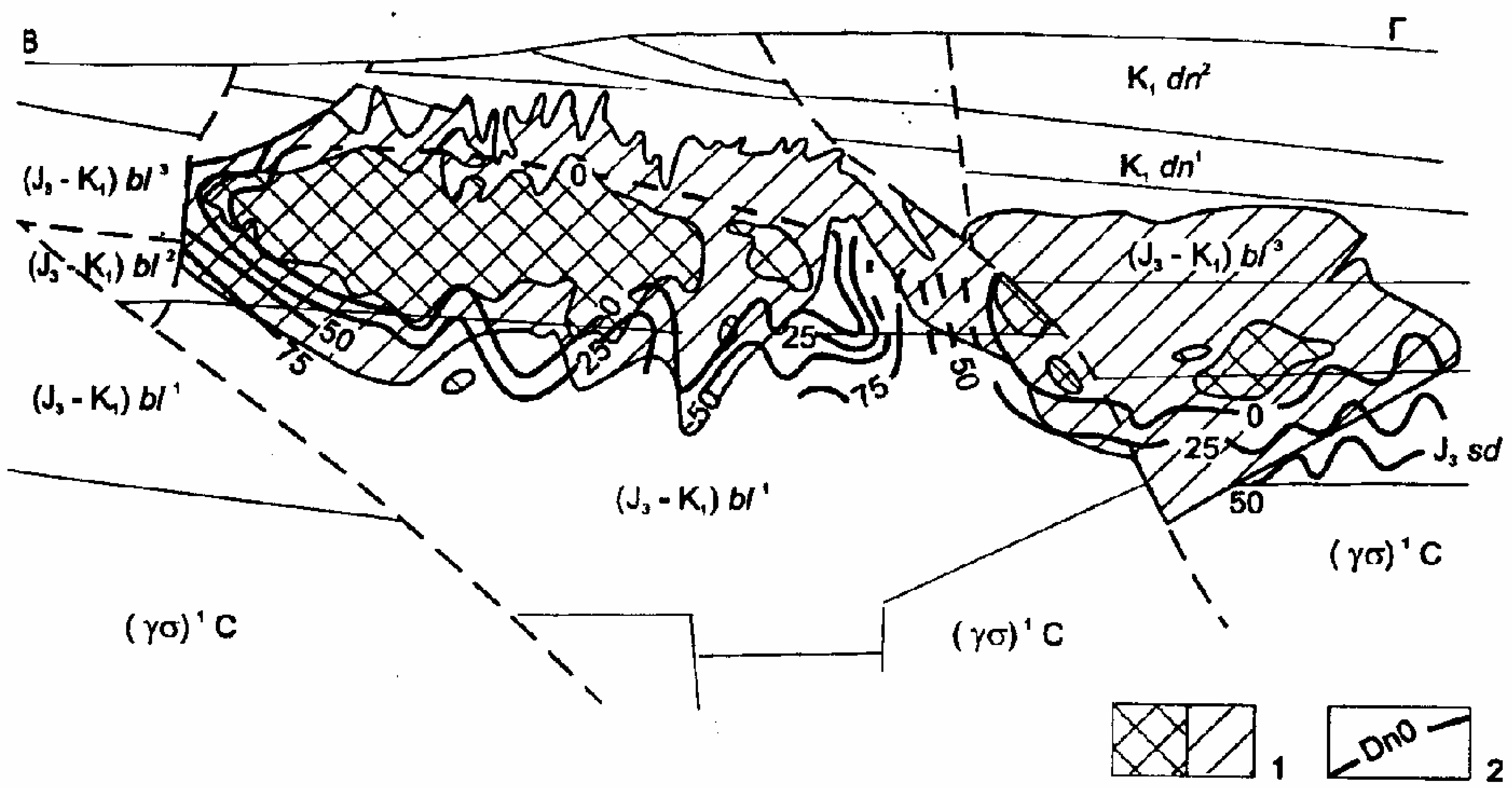


Рис. 25. Распространение пирита электронной проводимости в жиле №1 (по В.А. Фаворову).

1 - рудные столбы и рядовые руды (наклонная штриховка); 2 - изолинии ТЭДС пирита.

В целом картина распределения пиритов разного типа довольно сложная. Эту картину можно пояснить схемой:

Предрудные метасоматиты → рудный столб → непродуктивные метасоматиты

n (редко) n-p пирит → p-пирит → p-n марказит → n-p марказит, пирит → p марказит

Кристаллы с зональностью	Кристаллы с зональностью
n (ядро) → p (оболочка)	p (ядро) → n (оболочка)

ТЭДС пиритов и арсенопиритов является хорошим индикатором золотоносности пирита и арсенопирита месторождений средних глубин. На примере месторождения Бакырчик (рис. 26) можно четко видеть перспективы минерализации на глубину, определяемые величинами и знаками ТЭДС пирита и арсенопирита [Нарсеев и др., 1974].

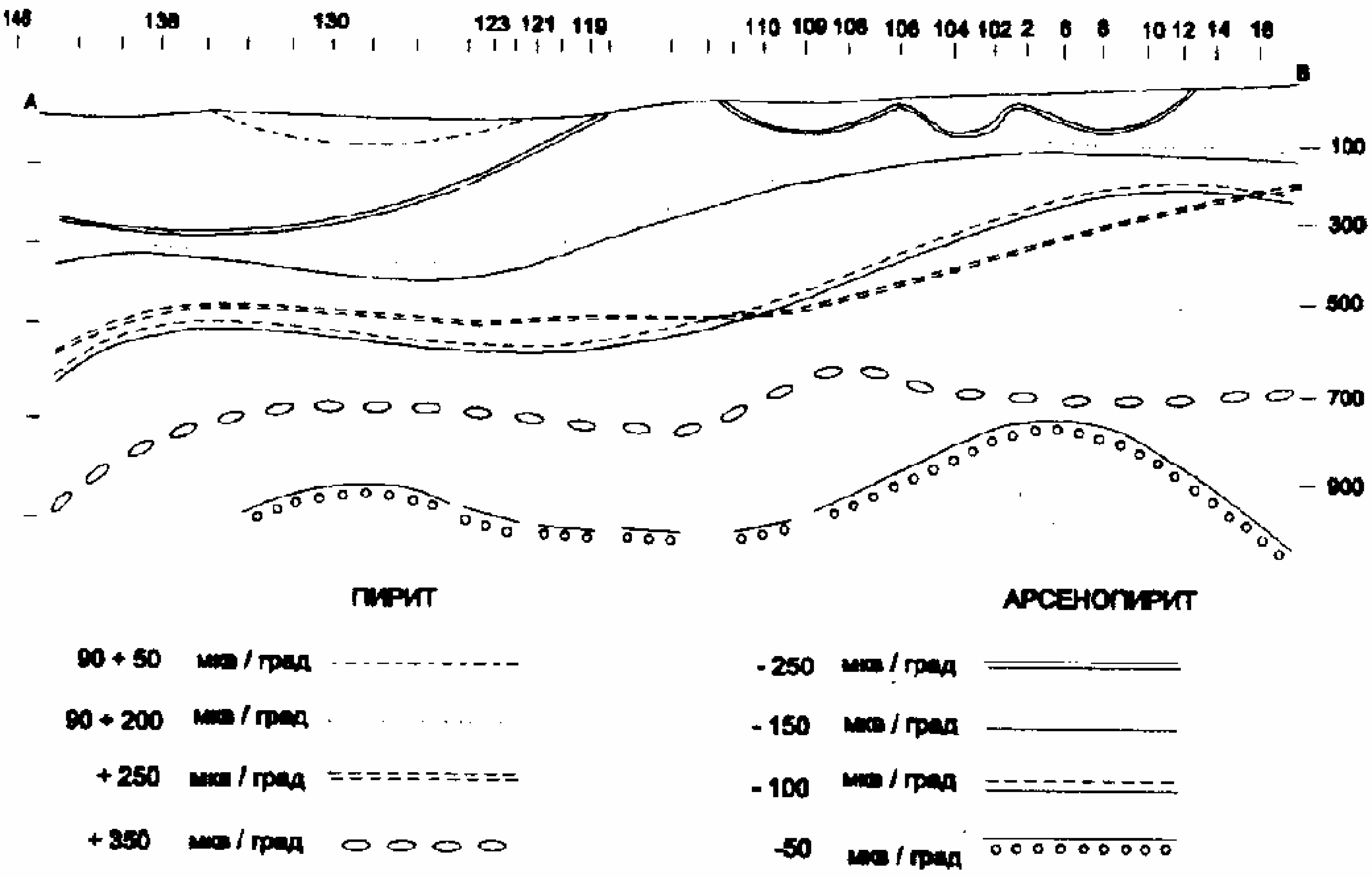


Рис. 26. Зональность значений ТЭДС пиритов и арсенопиритов продуктивной стадии месторождений Кызыловской зоны (Бакырчикское рудное поле, длина по простиранию зоны — 3 км, шкала глубин в метрах), вверху — номера разведочных линий.

5. Рудные столбы месторождений золота

Проблема рудных столбов — одна из важнейших в учении о рудных месторождениях, с давних пор привлекает внимание исследователей. Рудные столбы являются геологическими образованиями, отражающими закономерности распределения минерального вещества в пространстве. В то же время, они часто заключают в себе основную массу запасов металла, определяя тем самым промышленную ценность месторождений.

Теоретическая ценность изучения рудных столбов всегда подчеркивалась Ф.Н. Шаховым, который указывал, что изучая причины возникновения рудных столбов, мы вносим значительный вклад... в проблему образования высоких концентраций рудного вещества. Практическое значение рудных столбов общеизвестно. Н.В.Петровская отмечает, что "... в истории освоения многих, в том числе золоторудных месторождений, известно немало случаев, когда неожиданное обнаружение богатых руд не только возрождало жизнь законсервированных предприятий, но и существенно расширяло сырьевую базу отдельных отраслей горнодобывающей промышленности" [Н.В.Петровская, 1963, стр. 286].

Интерес к рудным столбам, возникший чисто практически у рудокопов древности, не ослабевает до сегодняшнего дня. После публикаций периода 1860–1910 (Б. Котта, А. Гроддек, Де Лоне, Ф. Пошепный, Р. Бэк, К.Р. Ван Хайз, В. Линдгрен, Р. Пенроуз, Ф. Гаррисон и др.) был интервал накопления фактов, завершившийся блестящим обзором К.Д. Хьюлина в 1929 г. Затем вновь появлялись периодически сводки и обзоры. Некоторые из них не утратили значения и теперь. К ним следует отнести: монографии В. Линдгрена [1948], У. Эммонса [1937], А.М. Бетмана [1949], коллективные сборники геологов США (редактор У. Ньюхауз), Австралии [Geology..., 1953], доклады Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. В русской литературе термин "рудный столб" укоренился с 90 годов XVIII века. Первоначально он относился только к тем узким полосам богатых руд, склонение которых совпадало с падением жилы. Обогащенные участки, отличающиеся от этого условия либо формой, либо элементами залегания, назывались рудными гнездами. И хотя термин заимствован из зарубежной горной практики, приоритет в изучении проблемы богатых руд принадлежит русским ученым. Он связан с именем М.В. Ломоносова, теоретические обобщения которого об условиях локализации обогащенных участков и причинах их образования общеизвестны. Не менее важные заслуги в деле изучения рудных столбов имеет Н.В. Высоцкий, впервые применивший метод структурного анализа и геометризации поверхностей для выяснения локализации богатых руд на Кочкарском месторождении. Основные причины возникновения рудных столбов изложил в 1903 г. К.И. Богданович в своем первом в России "Учении о рудных месторождениях". Признавая ведущую роль в их образовании внешней обстановки, он рассмотрел физические и химические условия, способствующие неравномерному отложению рудного вещества из растворов. В дальнейшем, развивая идеи корифеев русской геологической науки, существенный вклад в дело изучения рудных столбов внесли советские геологи. Их успехи отражены как в периодической геологической печати последнего двадцатилетия, так и в работе двух симпозиумов, специально посвященных "Генезису рудных столбов" и "Проблемам образования рудных столбов" [Проблемы образования..., 1972; Проблемы рудных..., 1958; Проблемы эндогенных..., 1964]. Обширную информацию советских геологов, освещающую весьма важную и сложную проблему рудных столбов, можно разделить на две большие группы: работы обобщающего плана и описательные работы. Результаты анализа работ второй группы отражены на рис. 21. Они показывают количественное соотношение структурных

типов рудных столбов в месторождениях золота, урана, сурьмы, ртути, цветных и редких металлов. Для построения использовались только те источники, в которых отмечено конкретное положение рудных столбов. Разновидности последних группировались по типам "структурных ловушек", выделенных для золоторудных месторождений [Левин и Нарсеев, 1970].

Определение понятия

У исследователей до настоящего времени нет единого подхода как к определению рудного столба, так и к области применения этого понятия. Ниже дан анализ наиболее распространенных в отечественной и зарубежной литературе определений рудного столба. Необходимость такого анализа очевидна, так как это понятие является фундаментальным и нуждается в непрерывном совершенствовании по мере углубления общих представлений о генезисе руд.

В учение о рудных столбах существенный вклад внес Ф.Н. Шахов. Он отмечает, что "хотя контуры рудных столбов нередко устанавливаются экономически (опробованием), все же очертания их (особенно столбов сульфидных руд) часто бывают очень контрастными и легко устанавливаются при картировании" [Шахов, 1964, стр. 176]. Придерживаясь экономической основы определения, Ф.Н. Шахов в то же время указывает, что "при выявлении и картировании рудных столбов определять их границы только на основе построения изолиний содержаний основного элемента недостаточно. В границы столба следует включать все минералы рудной стадии". Такой подход был успешно реализован.

Неопределенно это понятие сформулировано в Геологическом словаре: "рудный столб — первично или вторично обогащенный участок рудного тела, обычно грубо столбообразной формы среди более бедных руд, чем отличается от рудных труб, залегающих среди безрудных боковых пород". Частично это определение повторяется А.С. Великим. Однако, вводя генетический смысл в понятие, А.С. Великий заключает: "рудный столб, как один из структурно-металлогенических элементов, представляет минерализованный (рудоносный) участок, в котором образование и локализация оруденения определяется особенностями строения и развития отдельных частей элементарных тектонических форм (складки, разрывы) или их сочетаний, особенностями состава рудообразующих растворов" [1961, стр. 19].

А.В. Королев и П.А. Шехтман [1955] рассматривают рудные столбы как морфологические разновидности секущих или контактовых эндогенных рудных тел. В зависимости от структурных особенностей для группы секущих тел они выделяют следующие формы: рудные диски, удлиненные рудные диски или укороченные рудные столбы и рудные столбы, а по характеру поперечного сечения тела — линзовидные, крестовидные, тавровые, треугольные и другие. Для контактовых тел дополнительно к названным формам указаны еще и плоскопараллельные. В зависимости от величины угла склонения и ныряния в плоскости рудовмещающей структуры эти авторы различают вертикальные, лежачие или горизонтальные и наклонные рудные столбы. Следует отметить, что классификация столбов по углам склонения широко распространена в американской горногеологической практике. Она имеет специальную, не укоренившуюся в советской литературе вследствие невыдержанности с геометрической и генетической стороны, терминологию: чимней, пайпы и манто. Первые характеризуют морфологию вертикальных столбов, вторые — горизонтальных, третьи — пластовых труб, переходных к коротким мощным жилам.

Морфологическая сторона понятия также рассматривалась Г.В. Тохтуевым, П.В. Ляпиным, С.А. Вахрамеевым, И.И. Боком и другими.

В.И. Смирнов [1978] предлагает две категории рудных столбов: морфологическую и концентрационную. Столбы первой категории образуют раздувы рудной жилы, сложенные богатой рудой. Столбы второй категории оконтуриваются участками высо-

коконцентрированной руды, не связанными с изменением мощности жилы. Они особенно характерны для месторождений радиоактивных, редких и благородных металлов.

Д.А. Тимофеевский [1983] считает возможным с некоторой условностью разделить рудные столбы на следующие три группы:

1. Обусловленные повышенной концентрацией продуктивных минеральных комплексов или полезных компонентов (столбы по вещественному составу руд или по содержанию полезных компонентов).

2. Обусловленные увеличением мощности рудных тел без заметного повышения содержания золота в руде, т.е. преимущественно находящиеся в зависимости от морфологических особенностей рудных тел (столбы по мощности рудных тел или повышенной концентрации рудной массы с промышленным содержанием золота на единицу площади рудного тела).

3. Обусловленные увеличением содержания полезных ископаемых и мощности рудных тел (столбы по мощности и содержанию).

Приведенный далеко не полный список работ дает возможность всесторонне оценить общее состояние вопроса и определить достигнутые в этой области успехи. С другой стороны, в результате анализа может быть подобран ряд новых фактов, позволяющих критически переосмыслить и уточнить некоторые укоренившиеся представления. В первую очередь это касается определения самого понятия "рудный столб". Как видно, данное В. Линдгреном [1948] определение рудного столба нельзя признать удовлетворительным. Оно схематично и практически не отличается от понятия "рудное тело". То же самое можно сказать и о генетическом определении А.С. Великого [1961], которое не отличается конкретностью. Приведенные им структурные, литологические и физико-химические факторы рудолокализации настолько общи, что в равной степени могут быть отнесены к образованию и рудных столбов, и рудных тел, и даже месторождений. В этой связи можно напомнить замечание М.В. Крейтера [1956], который писал, что структурные закономерности, влияющие на локализацию и форму рудных тел, резко отличаются от таковых, влияющих на образование рудных столбов. Как правило, месторождения, особенно жильного типа, включают в себя несколько рудных тел. У каждого из них вследствие зонального отложения минерального вещества может быть свое, отличное от других тел, распределение компонента. Именно это внутреннее распределение и определяет морфологию и границы рудного столба в пределах данного рудного тела. Следовательно, рудный столб, прежде всего, должен рассматриваться как элемент зональности и отражать те причины (геологические и геохимические), которые обуславливают эту зональность.

Попытки ограничить природное явление неравномерного распределения минерального вещества только экономическими рамками неверны потому, что понятие о промышленных рудах и кондициях в своей основе являются условным и зависит от прогресса технологии отработки руд. Кроме того, разведка и эксплуатация месторождений полезных ископаемых сама по себе ограничивается изучением только промышленной части рудного тела. Безрудные же участки последнего, как правило, остаются недоизученными или характеризуются единичными пробами. Отсюда следует, что при таком подходе определяется величина, отражающая среднепромышленное значение рудного тела. Она выводится на основании подавляющего влияния промышленных и частично забалансовых руд. Естественно, что это значение будет резко завышенным по отношению к фактическому среднему содержанию области минерализации. Поэтому ограничивать применение понятия рудный столб величиной среднего содержания металла (полезного ископаемого) в рудном теле или в несколько раз превышающей его (а во сколько именно?), мы не имеем основания.

К числу общих классификаций структурного профиля можно отнести группировку В.И. Смирнова, где дано пять типов рудных столбов, контролируемых участка-

ми: искривления и приоткрывания основной трещины; искривления и дробления выступа основной трещины; сопряжения основной трещины с побочной; пересечение основной трещины с побочной; пересечение основной трещины с благоприятной для оруденения породой.

Структурная классификация Ф.Н. Шахова [1964], несомненно, лучшая из рассмотренных выше. В ее основу положены известные факторы контроля рудных столбов: структурный и литологический. При этом подчеркивается, что такое разделение лишь преследовало цель проще показать формальные признаки, благоприятствующие образованию столбов и их поискам. Оно условно, ибо во всех случаях циркуляция растворов обусловлена структурой, а отложение рудного вещества — взаимоотношением раствора с литологическим окружением. Структурный фактор рассматривается в динамическом аспекте. Он может предшествовать движению рудоносных растворов и сопровождать его. Во втором случае пути движения растворов создаются внутриминерализационными подвижками, что, в конечном счете, обуславливает появление столбов наложенной минерализации. Известные случаи морфологичсских разновидностей структурного контроля объединены в следующие группы: столбы, возникающие в криволинейных трещинах после перемещения в их плоскости; столбы в участках наибольшей мощности жил; столбы в участках разветвления трещин; столбы скрещений жил; столбы в сопряженных и пересекающихся системах трещин; столбы в брекчированных породах; столбы экранирования растворов различными структурами. Восьмую группу составляют отмеченные выше столбы наложений, возникающие после внутриминерализационных подвижек. В группе литологически контролируемых столбов Ф.Н.Шаховым учитываются не только случаи физического и химического влияния вмещающих пород на отложение вещества, но и влияние встречающихся на пути движения иных растворов.

Как было показано выше, основу большинства схем составляют установленные случаи структурного контроля. Анализ последних показывает, что все известные структурные группы ловушек представляют собой открытые полости. Следовательно, контролируемые ими рудные столбы могут быть объединены в одну общую систему — столбов открытых полостей. Образование же этих полостей может происходить при блоковых дислокациях или без таковых. Оно может совпадать по времени или предшествовать рудному процессу. Таким образом, намечается связь с механизмом формирования открытых полостей и временем их становления. Исходя из этого, в общей системе целесообразно различать три группы: столбы в открывающихся полостях, обусловленных блоковыми подвижками; столбы пересечений, сопряжений и разветвлений, образование которых может быть не связано с блоковыми перемещениями; столбы экранирования, отличающиеся от двух других спецификой рудоотложения. Внутри каждой группы могут быть выделены различные разновидности структурных ловушек, которые и являются основой современных классификаций.

Выделяя различные уровни интенсивности рудоотложения, мы отождествляем их с фоновой минерализацией золота — 0,33 г/т, минерализацией в пределах рудных зон — 1,9 г/т, рудными телами — 5,95 г/т и столбами различных порядков с содержаниями — 18,8; 50,6; 100,3 г/т и т.д. Эти значения использованы для определения границ рудных столбов по содержаниям золота. В зависимости от значения границ и числа элементарных распределений можно выделить столбы различных порядков. Рудные столбы II порядка — части рудного тела, характеризующие его внутреннее строение, заключающие в себе основную массу запасов и отвечающие требованию неразрывности. Рудные столбы IV и более высоких порядков — линзы, гнезда, бонанцы в пределах столбов III порядка. Условием их выделения может быть только определенный уровень интенсивности минерализации.

Структурные критерии выделения рудных столбов

На основании изучения жил десятков крупных месторождений установлено 24 структурных типа, составляющих три главные группы рудных столбов (табл. 75). Самое широкое распространение (56,1%) получили столбы открывающихся полостей, заключающие в себе около 25% общих запасов золота. Вторая группа, объединяющая столбы пересечений, сопряжений и разветвлений, значительно уступает первой по частоте встречаемости (29,1%), но зато превосходит ее по количеству запасов (35,3%). Столбы экранирования пользуются наименьшим развитием (всего 15%), но на их долю приходится порядка 40% запасов золота при очень высоком его содержании.

Таблица 75

Частота встречаемости структурно контролируемых рудных столбов в месторождениях различных металлов

Группы рудных столбов	Столбы открытых полостей								
Типы структурных ловушек в месторождениях	изменение залегания рудного тела	крутопадающие интервалы рудного тела	пологопадающие интервалы рудного тела	раздувы рудных тел	пережимы рудных тел	выклинивание рудных тел	рельеф рудовмещающих структур	повторное приоткрывание	внутриминерализационное брекчирование
Золото	9,8	3,7	3,7	4,3	3,1	1,2	3,1	1,8	3,1
Цветные металлы	10,1	3,1	2,3	2,3	0,7	0,7	6,2	0,7	-
Редкие металлы	17,6	4,0	1,3	2,7	1,3	1,3	1,3	4,0	1,3
Ртуть и сурьма	11,0	2,4	4,9	-	2,4	2,4	1,3	1,3	1,3
Уран	13,9	5,5	6,8	1,3	1,3	1,3	2,6	-	-
ИТОГО во всех месторождениях	11,8	3,6	3,6	2,5	2,0	1,3	3,3	1,6	1,3

Столбы открывающихся полостей

Столбы известны в месторождениях кварцево-жильного и других типов. В зависимости от направления сдвиговых деформаций (правое, левое движение) и характера блоковых перемещений (взбросы, сбросы), протекающих в предрудный и рудный этапы, рудные столбы этой группы контролируются участками: изменения простирания рудного тела вдоль линии простирания; изменения углов падения вдоль линии падения; крутопадающими интервалами рудного тела (чистый сброс); пологопадающими интервалами рудного тела (чистый взброс); раздувов и пережимов в мощности рудных тел; углублений в рельефе рудовмещающих структур.

Рудные столбы на участках изменения простирания рудного тела встречаются довольно часто. Типичным примером является столб, установленный в жиле Павловской на месторождении Акжал. Морфология жилы определяется формой вмещающей ее трещины и представляет (в плане) трехгранную призму, ориентированную основанием на восток. Простирание жилы субширотное (275°) и лишь в самом западном ее конце наблюдается коленообразный изгиб к юго-западу (250°), а затем, на северо-запад (320°). Северо-западная грань двугранного угла, плавно сужаясь, выклинивается на расстоянии 100 метров. Мощность жилы непостоянная. Она изменяется от 5 см (северо-западная грань) до 25 см (северо-восточный фрагмент колена). С субширотной части мощность ее постепенно увеличивается в восточном направлении до 2 метров. Здесь жила ограничена трещиной северо-восточного (30°) простирания. Рудный столб

III порядка характеризуется простой формой, прямолинейными контурами и круто склоняется согласно склонению ребра перегиба. В этом контуре выделяются линейные и также крутосклоняющиеся полосы столбов IV порядка. Они контролируются дополнительными осложнениями поверхности трещины.

Аналогично положение рудных столбов в жиле Белой того же месторождения (рис. 27). Здесь столбы сложного строения контролируются субширотными (80-85°) гранями, при общем северо-восточном (75°) простирании жилы. Участок резкого изменения простирания (СВ 55°), разделяющий столбоносные грани, представлен убогими рудами. Склонение ребер двугранных углов, образованных перегибами жилы, встречное. На горизонте V они сопрягаются, и ниже прослеживается единый рудный столб.

Таблица 75 (продолжение)

		Столбы пересечений, сопряжений, разветвлений				Столбы экранирования	
зоны рассланцевания и брекчирования	шарниры складок, куполообразные структуры, складки волочения	пересечения разнонаправленных трещин	сопряжения основных и оперяющих трещин	разветвление трещин	пересечение пликативных элементов разломом	трещинами с глинкой трения и дорудного выполнения	непроницаемыми горизонтами вмещающих пород
11,7	6,4	17,8	12,3	6,2	1,2	4,9	5,5
8,1	6,8	28,6	11,6	3,1	3,8	3,1	8,8
17,6	1,3	10,8	12,1	6,8	6,8	1,3	5,4
13,3	12,0	8,4	11,0	1,3	1,3	7,3	20,8
13,9	4,2	16,2	8,3	12,5	1,3	2,6	8,3
12,1	6,5	17,8	11,2	5,6	2,7	4,1	9,0

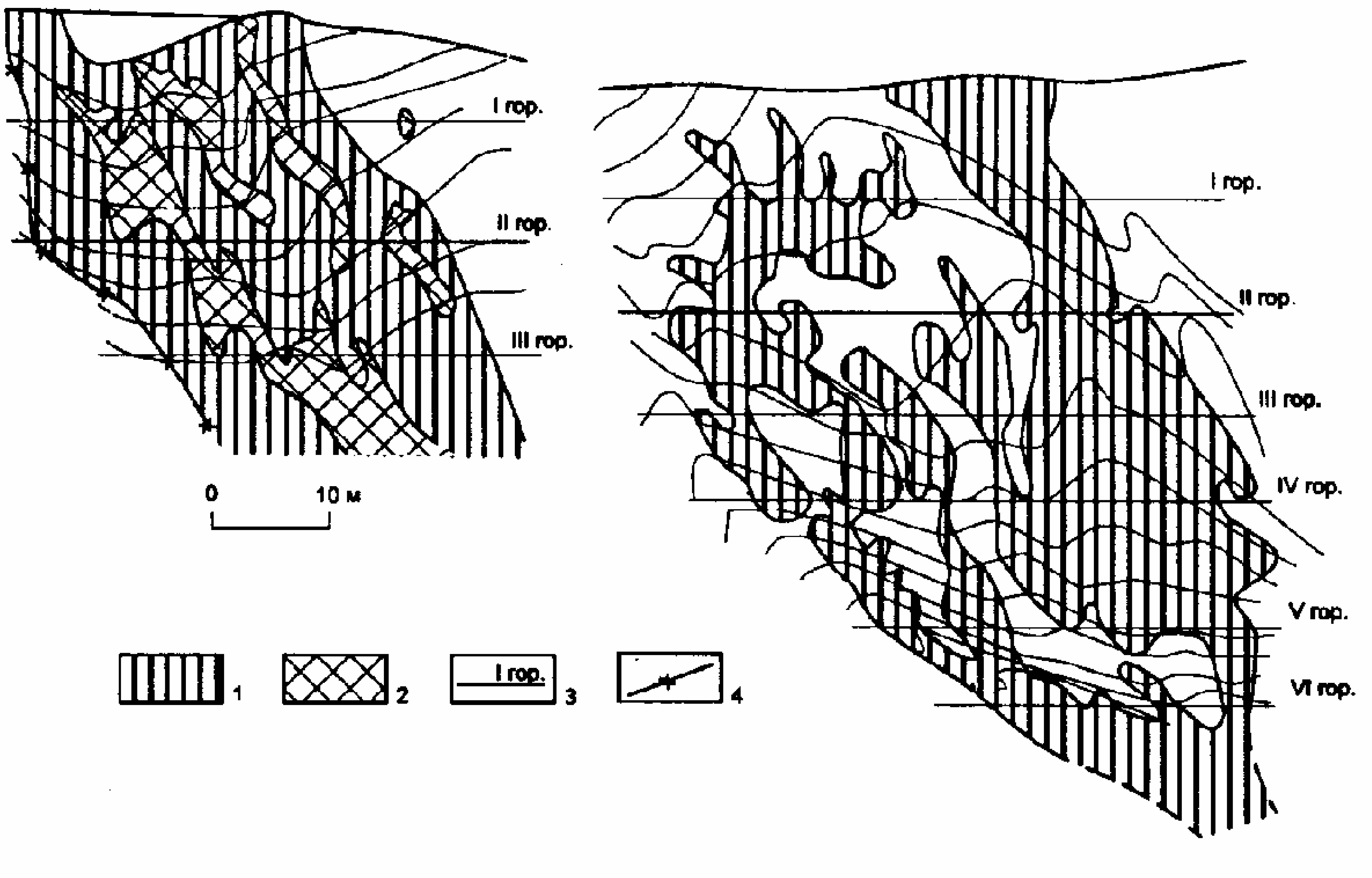


Рис. 27. Рудные столбы в жилах Белая и Павловская месторождения Акжал (по Г.Б. Левину).

1 - столбы I порядка; 2 - столбы II порядка; 3 - горизонты добычных работ; 4 - линия выклинивания жилы.

Интересным примером рудных столбов II порядка, локализующихся в рассматриваемых условиях, является жила Троицкая на Степняке (рис. 28). Она залегает в диоритах Степнякского массива, пересекая интрузию от южного до северного контакта в близмеридиональном направлении. Падение жилы пологое (35-40°) на северо-запад. Длина на поверхности около 1 км. На юге она ограничена Георгиевским нарушением, а на севере выходит из диоритов и затухает в толще песчаников. При этом изменяется ее морфология и резко снижаются содержания золота. На глубину жила прослежена до 400 м. Здесь, по мере подхода к западному контакту диоритов, она расщепляется и постепенно выклинивается. В экзоконтактовой оторочке роговиков и в сланцах жила не встречена. С глубиной протяженность жилы уменьшается и на горизонтах 350-400 метров ее длина не превышает 400 м. Морфология жилы сложная и зависит от структурных особенностей пересекаемого ей участка. Местами она распадается на ряд сближенных параллельных и диагональных жил и прожилков, наследующих рисунок план-параллельных сколов, сопровождающих Георгиевский и Диагональный разломы. Средняя ее мощность 0,8 м и достигает в раздувах до 4-6 м. По падению (ниже 300 м) жила разветвляется на две составляющие с разными углами падения 30-35° и 20-25°. Элементы залегания жилы непостоянные. Их изменения наблюдаются вблизи крупных дорудных нарушений; в связи со ступенчатыми изгибами в участках, где она следует по двум системам сопряженных трещин; в зависимости от вмещающих пород. В диоритах обычны более крутые углы и отклонения в сторону более восточных румбов. Со стороны висячего бока имеется серия коротких оперений, часть из которых содержала рудные гнезда. Жила общего субмеридионального (10-15°) простирания в центральной части меняет свой курс на субширотный (255°). Системы линейно вытянутых рудных столбов приурочиваются к участкам, имеющим более северо-восточные направления, а в интервале широтного простирания развиты бедные руды. Совершенно иная картина в распределении рудных столбов наблюдается в жиле Георгиевской того же месторождения.

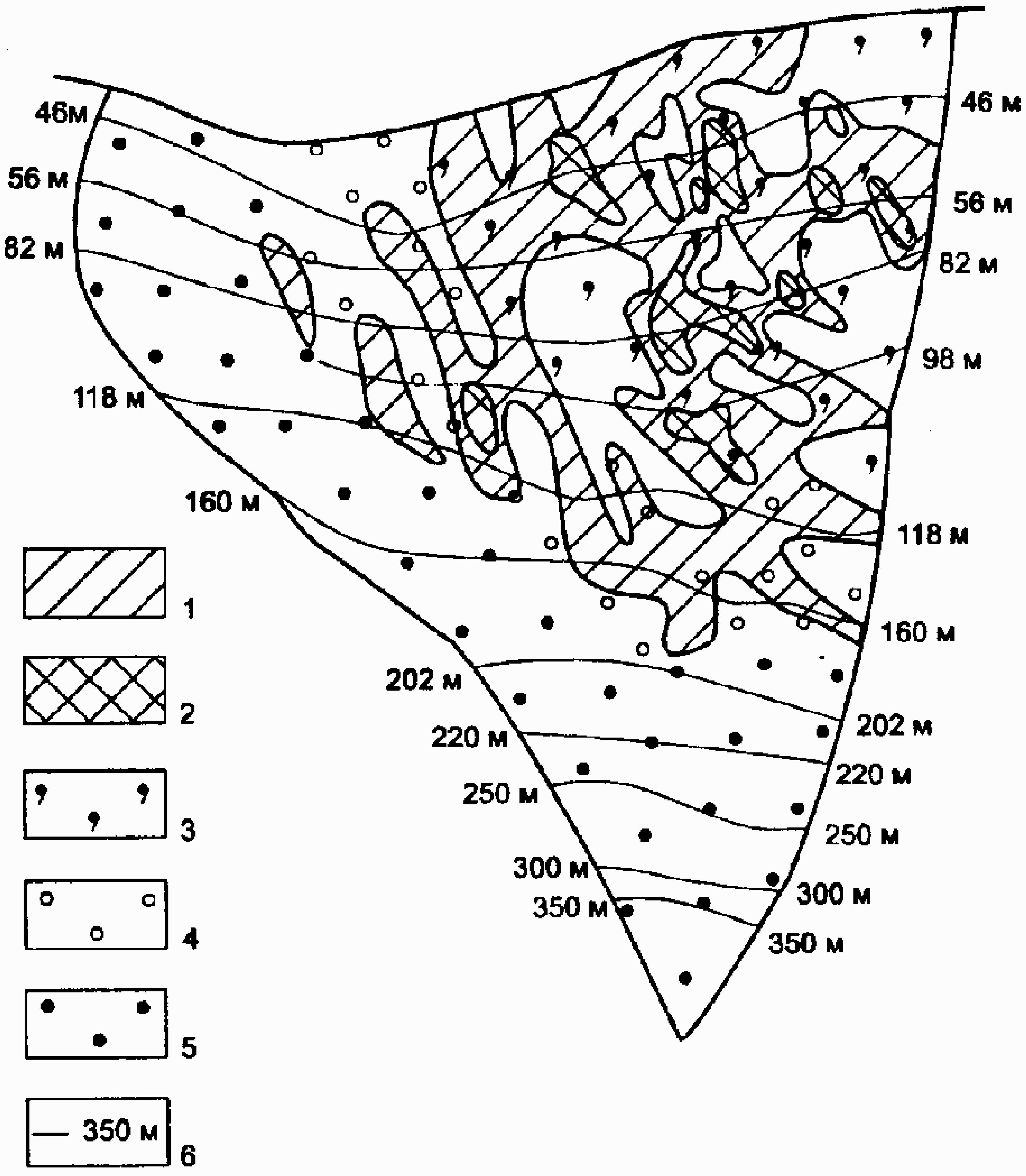


Рис. 28. Рудные столбы жилы Троицкая месторождения Степняк (по Г.Б. Левину).

1 - рядовые руды (до 10 г/т); 2 - богатые руды (до 20 г/т); 3 - рудные столбы (более 100 г/т); 4 - горизонт и его номер; 5 - граница сочленения жилы с тектонической зоной.

Жила Георгиевская залегает в туфогенных песчаниках. На южном фланге она, как и другие, ограничена одноименным нарушением, а на северном — имеет естественное выклинивание с некоторым склонением на юг (рис. 29). Длина жилы изменялась от 550 м (у поверхности) до 60 м (на горизонте 350 м). По падению она прослежена до 270 м, отработана до 300 метров. До гор. 160 м жила

отличалась уникальным богатством. Ниже этого горизонта после пересечения с крупной трещиной содержание золота резко снизилось. Мощность жилы колеблется от 0,8 до 1,5 метра. На глубине 200 м жила входит в тело Степнякского диоритового штока. Здесь около нее развивается серия сопровождающих жил (Шеелитовая, 3, 4 и др.), нередко содержащих рудные столбы. Для жилы характерно ступенчатое строение, обусловленное пересечениями дорудных нарушений, которыми жильная трещина разбита на ряд блоков. Несущими богатое оруденение являются более субширотные грани жилы. Столбы отличаются значительными размерами по падению и характеризуются простой морфологией. Как и в жиле Троицкой в пределах рудоносных граней развиваются столбы других структурных типов.

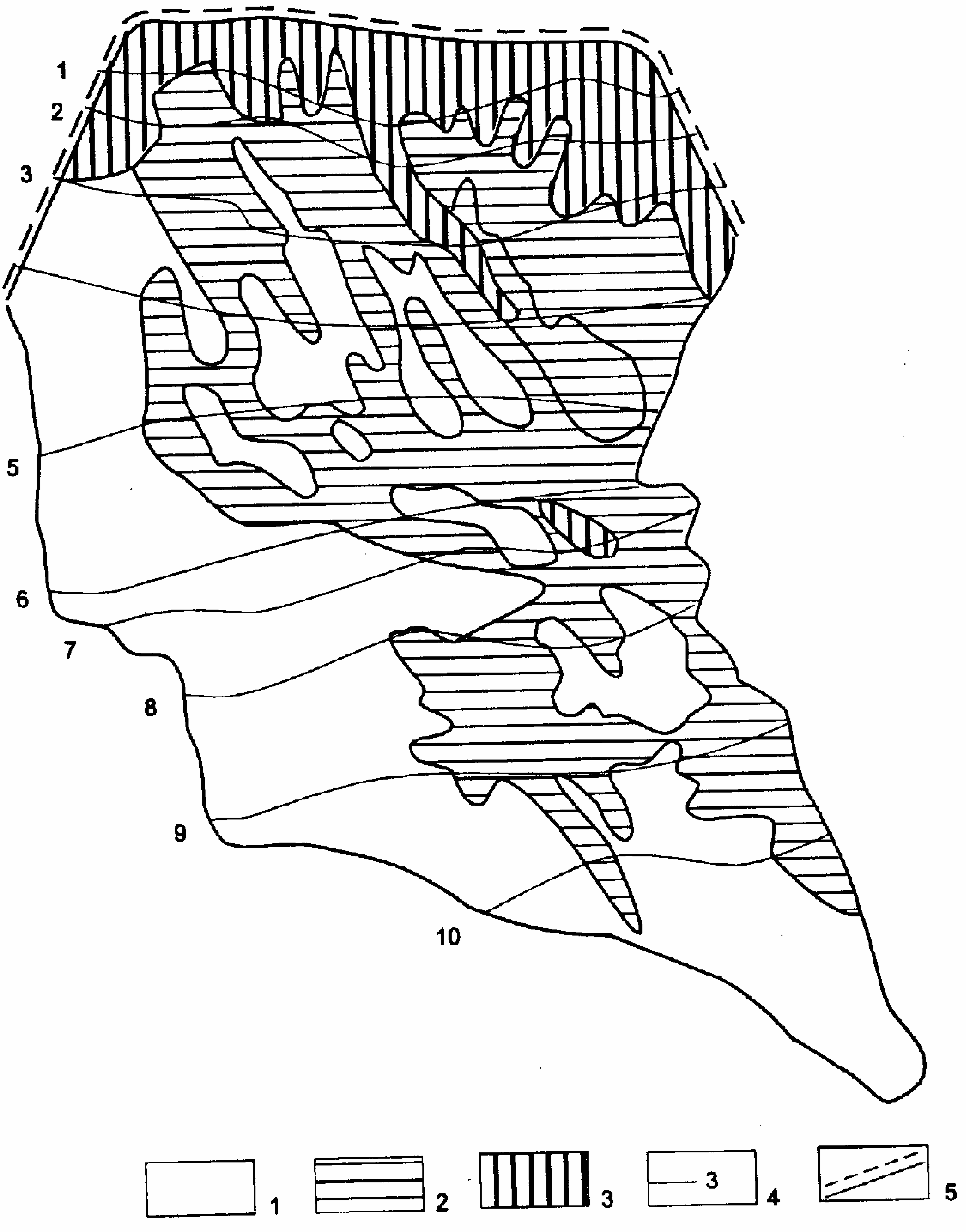


Рис. 29. Рудные столбы жилы Георгиевская месторождения Степняк (по Г.Б. Левину с дополнениями).

1,2 - рудные столбы I и II порядка; 3 - зона развития золото-полисульфидной ассоциации; 4 - зона развития золото-полиметаллической ассоциации; 5 - зона развития золото-пирит-арсенопиритовой ассоциации; 6 - горизонт и его отметка.

Рассмотренные примеры убедительно показывают, что одним структурным типом ловушек могут контролироваться различные по масштабам и значению рудные столбы. Это явление, свойственное и другим описанным ниже структурным типам, необходимо учитывать при проведении поисковых и опробовательских работ.

Рудные столбы, локализующиеся в местах изменения углов падения рудных тел особенно широко распространены в месторождениях кварцево-жильного типа. Они установлены почти повсеместно и имеют важное практическое значение. Размеры столбов этого типа различны, разнообразна и их морфология. В качестве примеров, иллюстрирующих это положение могут быть описаны столбы жил Северной месторождения Эспе, Банной на Казан-Чункуре, Троицкой на Степняке, №13, Диагональной на месторождении Бестюбе и другие.

Жила Северная месторождения Эспе (рис. 30) залегает в терригенной толще карбона, пересекая в основном конгломератовую часть разреза. С поверхности и до горизонта 45 метров она падает под углом 55-60°. Ниже ее падение становится пологим (25-30°). К ребру двугранного угла, образованного разнопадающими гранями, приурочен рудный столб лентообразной формы. Ширина его изменяется от 5 до 25 метров, а прослеженная длина по простиранию составляет 150 метров. Склонение столба пологое (8°) на юг, соответствует погружению ребра сопряженных плоскостей.

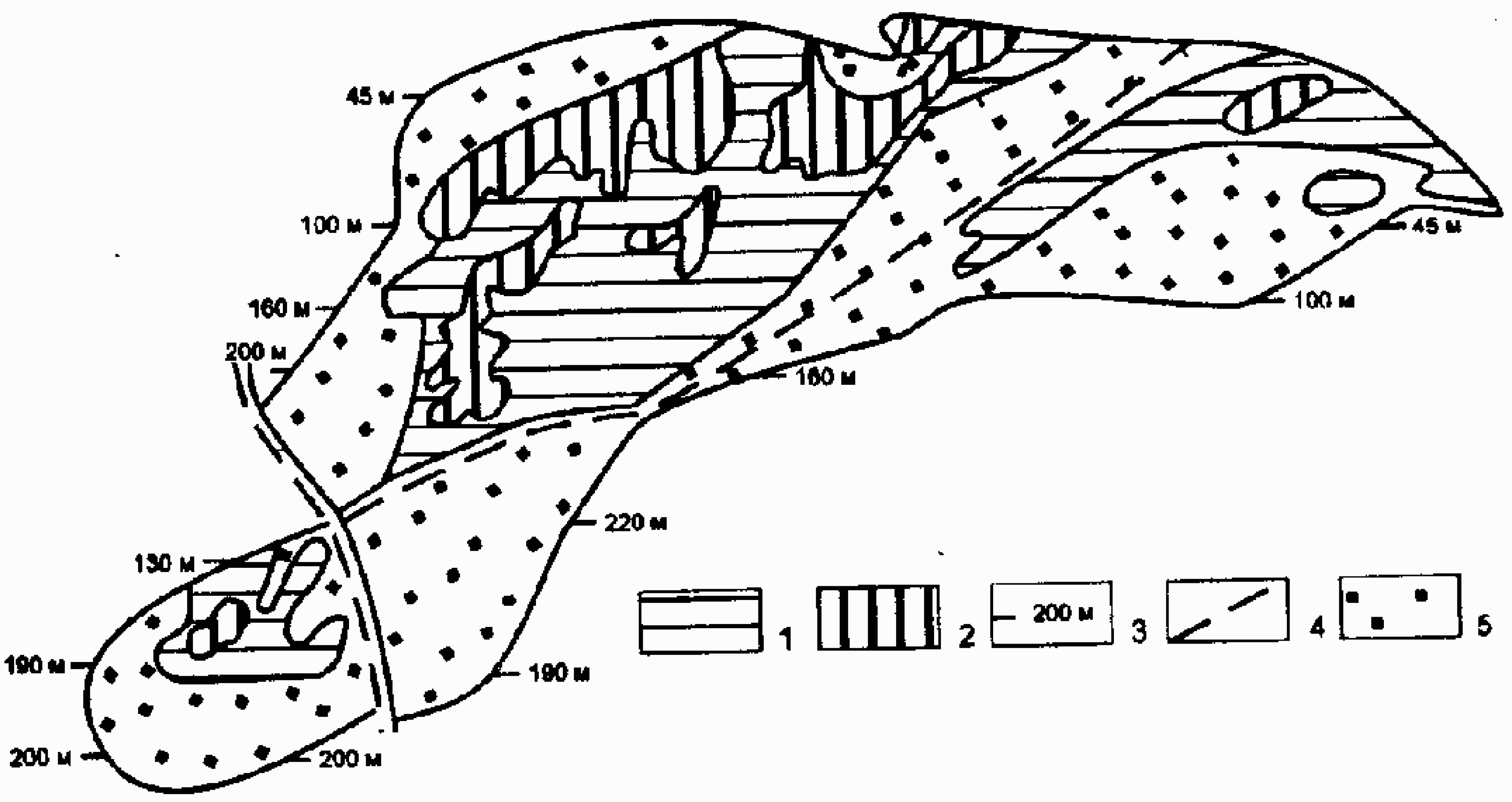


Рис. 30. Рудные столбы жилы Пологая месторождения Эспе (по Г.Б. Левину).

1,2 - рудные столбы I и II порядка; 3 - отметка горизонта (м); 4 - разрывные нарушения; 5 - бедные руды.

Интересный случай совмещения факторов контроля рудных столбов наблюдается в жиле Троицкой на месторождении Степняк. Жила характеризуется средними углами падения (35-40°). По падению она последовательно пересекает зонально построенную (от кварцевых диоритов в центре, до габбро на периферии) интрузию. На отметке VI горизонта она входит в тело габбро и изменяет свой угол на более пологий (20°). Рудные столбы, широко развитые в диоритовой части интрузии, при этом выклиниваются, хотя мощность жилы в габброидной части резко возрастает. Возможно, что в локализации рудных столбов, кроме изменения углов падения, существенную роль играли физико-химические факторы. Подобную позицию занимают рудные столбы в многочисленных жилах месторождения Бестюбе. Общим для всех их является выполаживание углов падения жилы при переходе из слоистой толщи в тело диоритового штока и связанная с этим потеря золотоносности (см. рис. 28).

Рудные столбы в крутопадающих участках рудных тел характеризуют уникальные по богатству золотоносные жилы месторождения Бестюбе. Здесь нередки случаи, когда границы жилы одновременно являются контурами рудного столба (жилы 9, верхние горизонты Северной 2, Слепое рудное тело и др.). На месторождении выделяются два обособленных участка — Западный и шахты №2. Первый характеризуется сближенной системой сколовых линейно вытянутых, крутопадающих трещин северо-восточного простирания. Второе сколовое направление (северо-западное)

проявлено значительно слабее. В трещинах отрыва субширотного простирания, локализуются бедные по содержанию золота жилы. На участке шахты №2 преобладают пологие трещины субширотного простирания, являющиеся оперениями диагонального и меридионального нарушений. По своей морфологии, пологим падениям они соответствуют трещинам отрывного типа (извилистые в плане, ограниченные по простиранию). Характерной особенностью рудных столбов в жилах обоих участков является их приуроченность к более крутым местам падения жилы, вне зависимости от ее мощности в этом интервале, что указывает на общность плана деформации при формировании структуры предрудного этапа. Примером столбов этого типа является жила №13 (рис. 31). В пологой жиле №13 выделяются столбы III и IV порядка. Они контролируются областями, частями жилы, имеющими углы падения 25-40°, в то время, как в пологих участках (0-25°) богатые руды отсутствуют. Еще более четкую приуроченность к крутым участкам падения отражают столбы IV порядка, имеющие сложный контур дендритовидной формы. Размеры столбов различные и определяются площадью крутопадающей плоскости. Изменение углов падения в плоскости жилы показано в изолиниях углов падения.

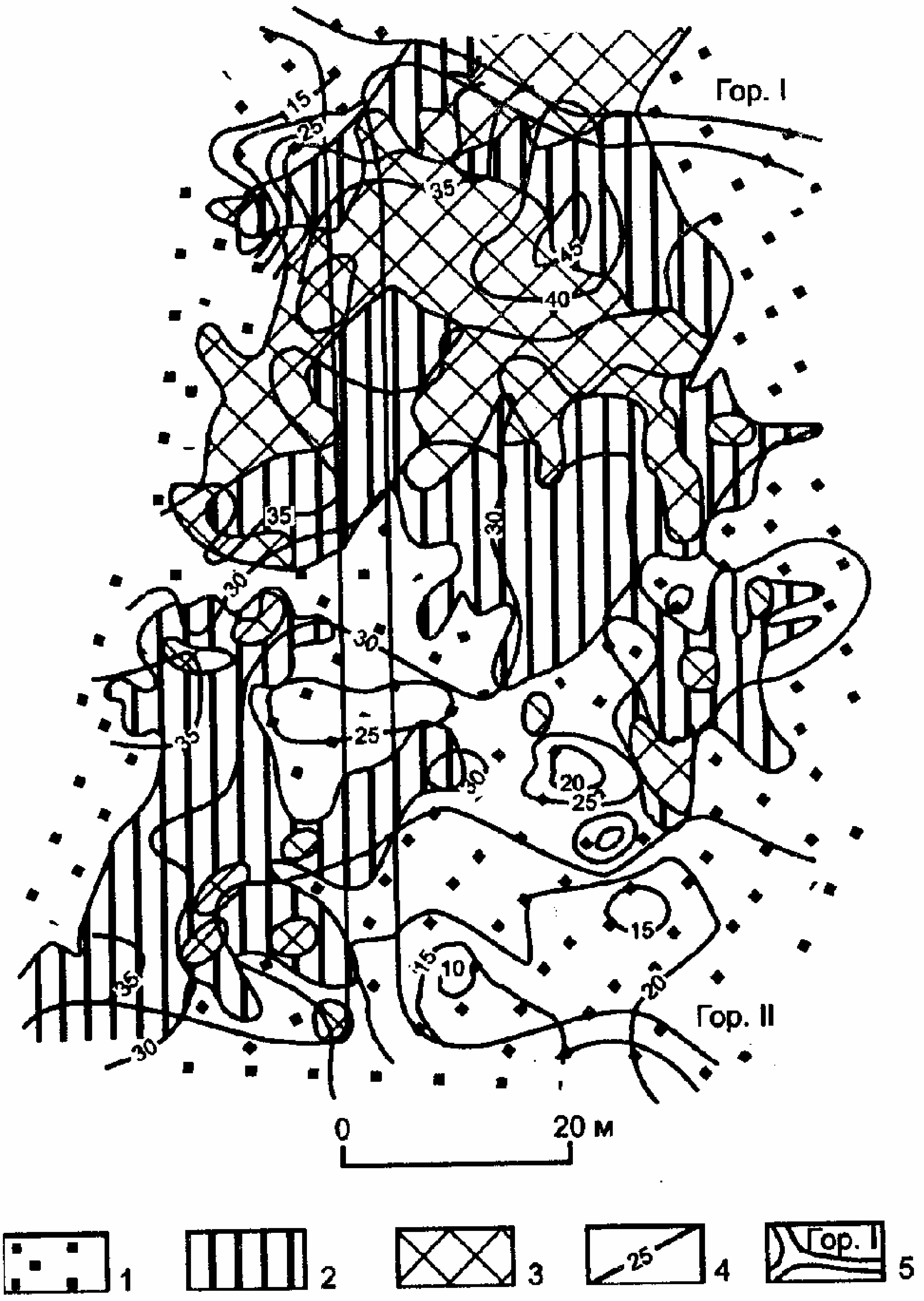


Рис. 31. Рудные столбы на участках крутого падения жилы 13 месторождения Бестюбе (по Г.Б. Левину).

1-3 - рудные столбы: 1 - I порядка, 2 - II порядка, 3 - III порядка; 4 - изолинии углов падения жилы в град.; 5 - горные выработки подземных горизонтов.

Рудные столбы в пологопадающих участках рудного тела пользуются также значительным распространением в месторождениях золота. Наиболее отчетливо столбы этого типа проявились в жилах северо-западного (310- и 340°) простирания в месторождениях Юго-Западной Калбы. К ним относятся жилы №12, апофиза жилы №13, отдельные колена золотоносных жил Фунтовой, Дамских, Красных и других на месторождении Акжал. Особенно оригинальна в этом отношении жила Сула Дубайского месторождения. Она состоит из двух ветвей — корневой крутопадающей, практически безрудной, и пологой (10-30°), несущей на своем протяжении очень высокую

концентрацию золота. Формирование ее происходило в процессе косых блоковых подвижек при господствующем взбросе. Наиболее богатым рудным столбом рассматриваемого типа является вновь выявленная Степная жила на месторождении Бестюбе, где содержание золота достигает 18,2 кг/т.

Столбы в раздувах рудного тела встречаются довольно редко, но иногда имеют важное промышленное значение. В качестве примера можно привести рудный столб жилы №13 месторождения Бестюбе. Столб характеризуется линзовидной формой, слабо волнистым контуром и вытянут по восстанию жилы. Его склонение в плоскости жилы вертикальное. Наиболее богатая часть его (столб IV порядка) контролируется теми местами жилы, где ее мощность не ниже 0,4 метра. С утонением жилы по восстанию и на флангах снижается и содержание золота.

Столбы в раздувах рудного тела характерны максимальным брекчированием. В данном случае связь столбов с раздувами рудного тела является видимой. Она обусловлена наличием дополнительного брекчирования в предрудный этап. Отсюда следует, что приуроченность столбов к наиболее мощным участкам рудного тела, не несущим дополнительных структурных осложнений, скорее является исключением, чем правилом. Сказанное подтверждается изучением корреляционных зависимостей между мощностью и содержанием. Установлено, что в пределах одного тела она может быть и прямой, и обратной. Анализ данных позволяет сделать вывод о влиянии на интенсивность рудоотложения оптимальных мощностей рудного тела.

Столбы в пережимах рудных тел пользуются повсеместным распространением во всех промышленных телах месторождений Казахстана. Характерным примером этого типа столбов является жила Южная-4 (рис. 32) месторождения Бестюбе. Из рисунка видно, что горизонтальный столб простого очертания приурочен к более крутопадающим частям жилы, характеризующимся резким уменьшением мощности. Отдельно взятые столбы данного типа в большинстве своем имеют ограниченное промышленное значение, хотя и характеризуются высокими и уникальными содержаниями. Так, в жиле Федор-Ивановской одноименного месторождения рудный столб размером 2х3х0,01 метра заключал 16,2 кг золота.

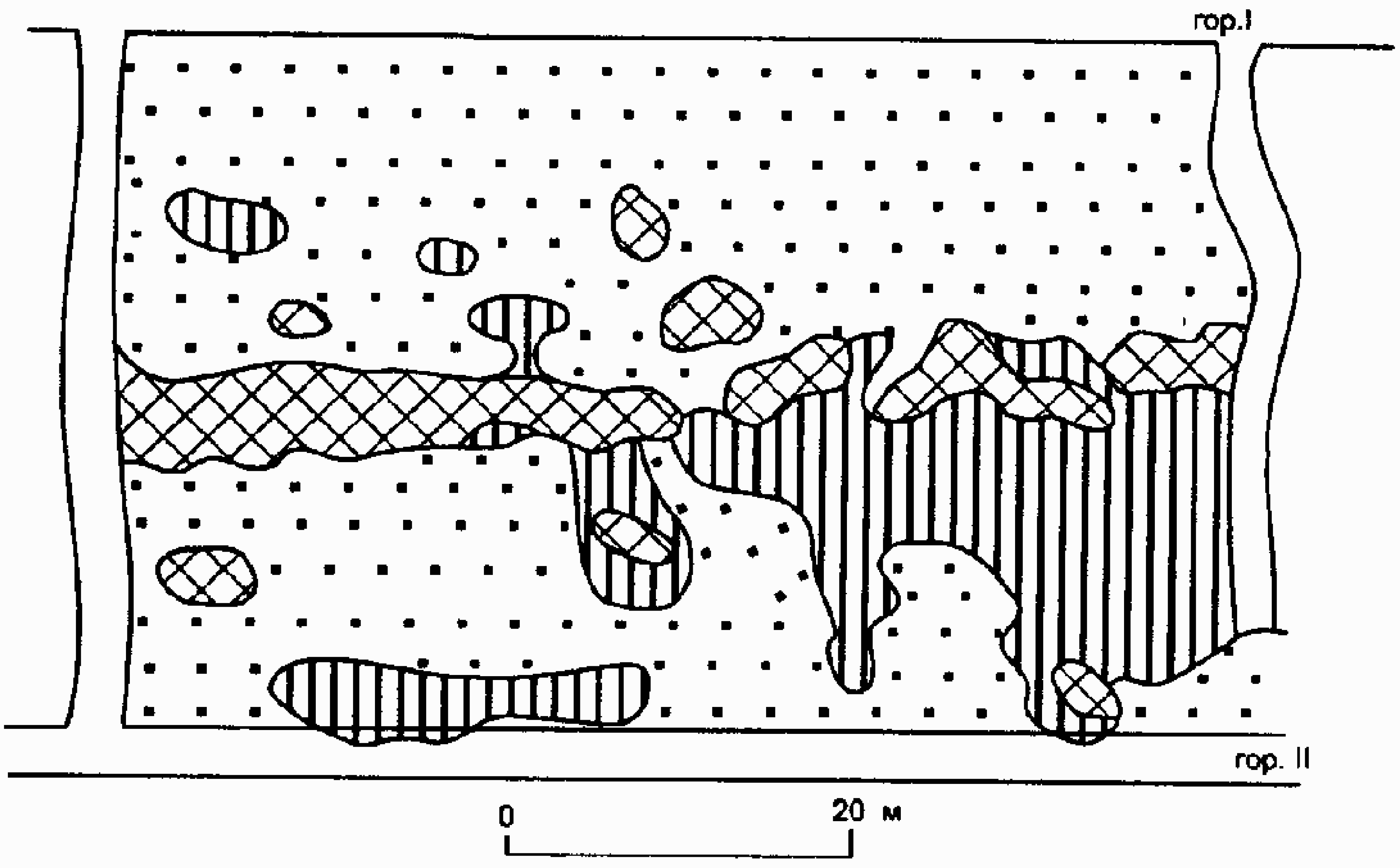


Рис. 32. Горизонтальные рудные столбы жилы Южная-3 месторождения Бестюбе (по Г.Б. Левину).

Условные обозначения см. на рис. 30.

Столбы на выклинивании рудного тела также широко распространены. Завидное постоянство столбов этого типа установлено в золотоносных жилах месторождения Джетыгара (Коренная, Пологая, Советская, Пятая, Тридцатая и др.). Жилы располагаются в гранодиоритах и выклиниваются на контакте со змеевиками. Вдоль этих контактов в области выклинивания, как правило, локализуются богатые рудные столбы. В удалении от контакта содержание золота резко падает до непромышленного.

Примером столба в однородной вмещающей среде может быть рудный столб жилы Южной-2 (рис. 33). Столб III порядка этой жилы располагается вдоль линии выклинивания, являющейся одновременно и его границей. Очертания столба весьма сложные и зависят от морфологии выклинивания. В его контуре выделяются столбы IV порядка.

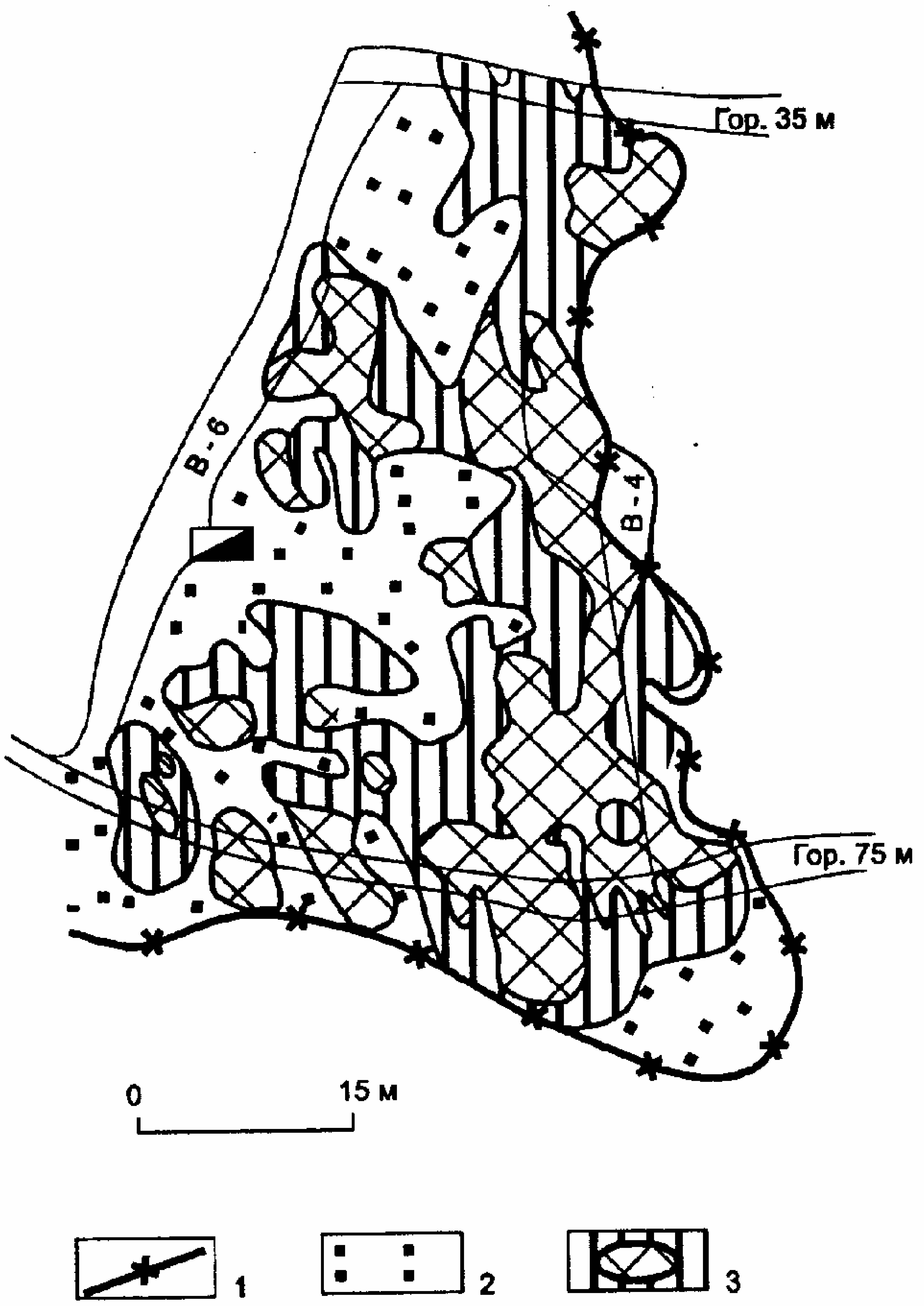


Рис. 33. Рудные столбы на выклинивании жилы Южная-3 месторождения Бестюбе (по Г.Б. Левину).

1 - линия выклинивания жилы; 2 - рядовые руды; 3 - рудные столбы I и II порядка.

Столбы в углублениях поверхности лежачего бока распространены в кварцево-жильных месторождениях. Они отличаются значительными размерами, но представлены относительно бедными рудами. Примером таких столбов может служить жила Северная месторождения Эспе. Столбы этой жилы, контролируемые рельефом поверхности, имеют грубо треугольную (в плоскости жилы) форму. Их морфология определяется строением вогнутых частей поверхности.

Рудные столбы в зонах рассланцевания и брекчирования характерны для золоторудных объектов типа "минерализованных зон смятия". Особенностью морфологии этих столбов является овальная или несколько удлиненная форма в плане, сравнительно прямолинейные контуры. Содержания золота в пределах рудных столбов значительно уступают таковым для жильного типа. Распределение золота более равномерное. Границы столбов достаточно четко проявлены и совпадают, как правило, с участками повышенной насыщенности кварцевыми прожилками или заметным увеличением количества сульфидов.

Рудные столбы в шарнирах складок, куполообразных структурах и складках волочения встречаются сравнительно редко. Эти структурные позиции больше контролируют размещение кварцевых жил, чем рудных столбов. Но именно к данному типу может быть отнесена жила Параллельная на Акжале, которая заключала в себе около 70% запасов всего месторождения (рис. 34). Обогащенные участки в жиле образуют ряд параллельных полос, периодически повторяющихся по падению. Расстояния между полосами выдержанные и составляют 5-7 метров. Наиболее богатые руды, отвечающие столбам IV и выше порядков тяготеют к местам сопряжения жилы с северо-восточными разломами, выполненными глинкой трения (зона Серебристая и

зона Икс). Возможно, что эти зоны оказали экранирующее воздействие и обусловили богатые концентрации золота в жиле Параллельной.

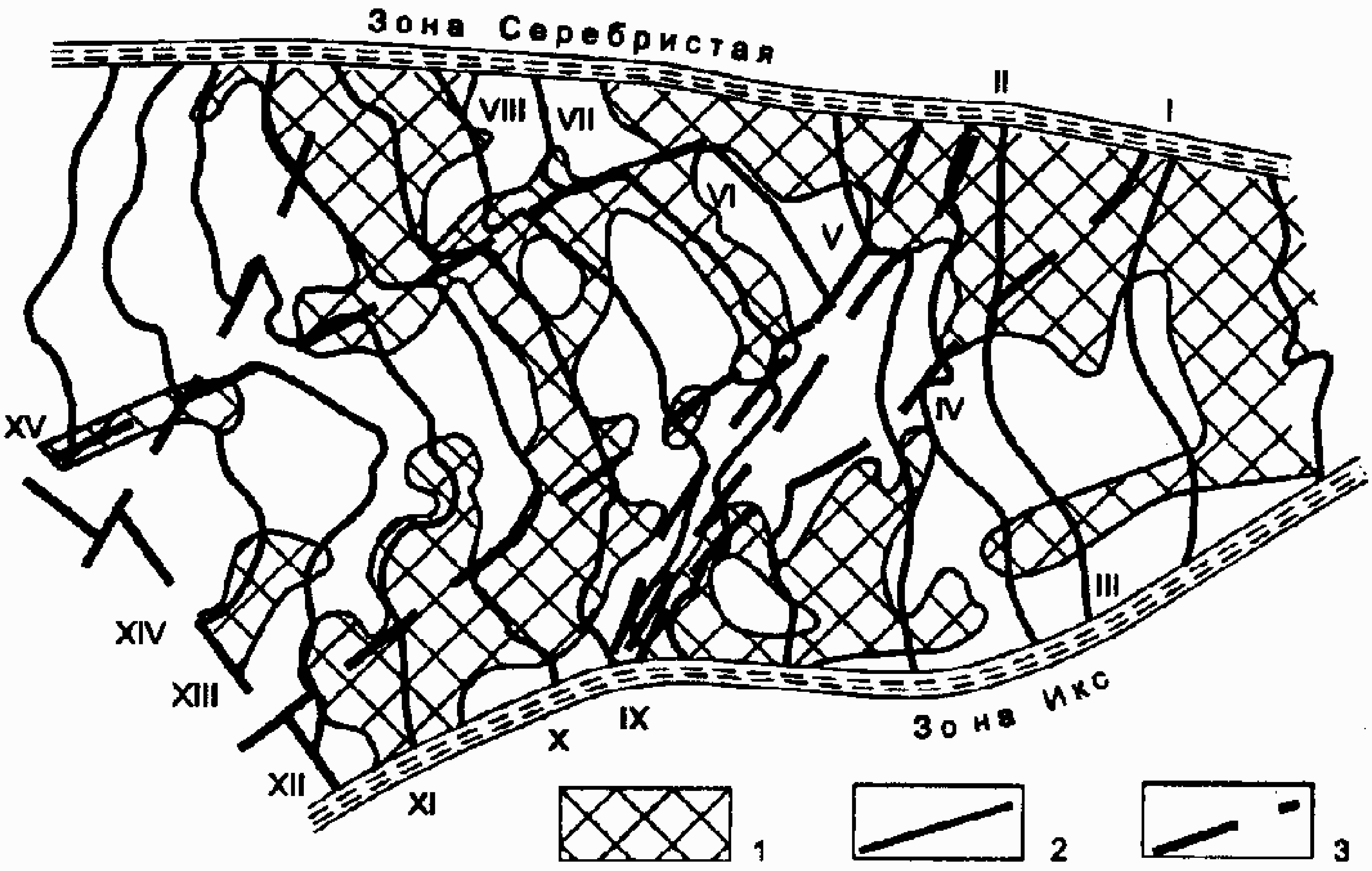


Рис. 34. Рудные столбы жилы Параллельной месторождения Акжал (по Г.Б. Левину).

1 - богатые руды (более 50 г/т); 2 - линия горизонта добычных работ; 3 - разрывные нарушения.

Столбы в участках внутриминерализационного брекчирования представлены примером, установленным Н.И. Бородаевским и П.И. Кутюхиным в жиле Белой месторождения Джетыгара.

Столбы в участках повторного приоткрывания трещин немногочисленны. Они отмечались Н.И. Бородаевским, А.М. Бэтманом, Ф.И. Вольфсоном, А.С. Великим, В.А. Глобой, В.Г. Звягиным, И.Н. Эповым, В.А. Нарсеевым, П.П. Утиным и многими другими. Причины их образования обычно связывают с механизмом приоткрывания трещин. В результате сбросо- и взбросо-сдвиговых перемещений вдоль плоскости трещины одни ее части (вследствие неровностей стенок) будут открываться, другие притираться. Первые служат каналами циркуляции рудоносных растворов, а вторые, выполненные инертной глинкой трения, являются препятствием фильтрующихся растворов. Таким образом создается система естественных резервуаров, в которых растворы имеют возможность длительное время задерживаться и взаимодействовать с вмещающими породами. Это приводит к более полному процессу отложения рудного вещества. Другая группа исследователей допускает смешение растворов различного состава в открытых полостях и тем самым объясняет причины образования здесь рудных столбов.

Столбы пересечений, сопряжений и разветвлений

Эта группа включает в себя восемь структурных типов рудных столбов, различающихся между собой сложностью строения и промышленным значением. Среди столбов, локализующихся в местах пересечения рудоконтролирующих структур, можно выделить три неравноценных типа: столбы в пересечениях жил, столбы в пересечениях трещин и столбы в пересечениях даек жилами.

В качестве примера рудных столбов первого типа можно привести зону Вертикальную на Акжале. Здесь богатые руды контролируются пересечениями двух жил: широтной (270°) и северо-западной (320°). Столб овальной формы в плане несколько удлинен в широтном направлении. Отношение длины столба к его ширине составляет 2,5:1. Склонение столба совпадает со следом линии пересечения жил. На горизонте 40 метров размеры столба уменьшились в 5 раз.

Рудный столб жилы Президент месторождения Даубай локализуется в аналогичной структурной позиции на пересечении пологой северо-западной жилы (310°) и крутопадающей широтной (270°). Микроскопически видимое золото в месте пересечения отмечалось не только в кварцевых жилах, но и вмещающих их порфиритах.

Локальное проявление столбов этого типа в некотором удалении от непосредственного пересечения жил Перспективной и Алексеевской установлено на месторождении Баладжал.

В литературе отмечается важная роль столбов на пересечении жил. Достаточно привести утверждение К. Хьюлина о том, что "хотя и не все пересечения жил являются местами образования столбов, но многие из наиболее крупных расположены именно в таких местах".

Столбы на пересечении трещин — один из важнейших и широко представленных типов. Они установлены как в жильных, так и других типах месторождений. Ярким примером является рудный столб Центрального тела Юбилейного месторождения в Мугоджарах. Он контролируется пересечением разломов северо-западного (340°) и северо-восточного (50°) простирания и заключает в себе около 50% запасов всего месторождения. Форма столба в плане грубо треугольной формы, несколько удлиненная по нарушениям указанных направлений. Следует отметить, что в аналогичных структурных позициях локализуются и остальные шесть рудных столбов, установленные в Южном, Западном, Восточном рудных телах. Обладая подобной формой, они отличаются меньшими размерами и менее высокими содержаниями.

Рудные столбы в пересечении даек жилами установлены в жиле Старо-Контактной и зоне №35 месторождения Акжал. Жила северо-западного простирания пересекает дайку диоритового состава почти под прямым углом. В месте пересечения дайки жилой последняя резко обогащается сульфидами и золотом. За пределами дайки содержание постепенно снижается и на расстоянии 5-7 метров от ее контактов становится непромышленным.

Рудные столбы на сопряжении трещин являются повсеместно распространенными. Примером такого типа столбов может быть фрагмент жилы Южная-2 месторождения Бестюбе. Основной рудный столб контролируется пучком раскрывающихся по восстанию трещин. Последние являются планпараллельными оперениями сколового типа, сопрягающимися с главным швом под углом 10-20°. Ширина столба находится в зависимости от размаха ветвей пучка. Выклинивание его по падению ограничивается областью сопрягающихся трещин. Столб очерчивается слабо волнистым контуром и характеризуется крутым склонением, соответствующим углу падения сопрягающихся ветвей. В области столба III порядка, согласно данным распределения, можно выделить более высокие уровни минерализации (столбы IV и выше порядков). Они также контролируются сопряжением двух ветвей или изменением угла падения трещины; либо располагаются в непосредственной близости от этих мест (рис. 35). Форма столбов IV порядка — удлиненные линзы, ориентированные согласно склонению столба III порядка. Подобные столбы установлены в жилах Геогиевской на Степняке, Интересной на Эспе и др. местах.

Столбы на сопряжении жил можно иллюстрировать фрагментом жилы Ново-Никольская месторождения Баладжал. Здесь система рудных столбов контролируется различно ориентированными в плане и разрезе линиями сопряжения жил. Среди них выделяются пологие, встречные и обратные сочетания. Столбы характеризуются неправильной формой и сложным контуром. Особо концентрированные участки руд приурочены к узлам сопряжения трех жил, располагаясь со стороны лежачего бока пологой и в висячих боках крутопадающих жил. Аналогичную позицию занимает главный рудный столб жилы Параллельной на Акжале. Характерно, что проба, взятая непосредственно в узле сопряжения жил Параллельной, Траншейной и Безымянной, показала самое высокое содержание — 1038 г/т. На месторождении Акжал практически все сопряжения рудоносных трещин несут повышенную концентрацию золота. Здесь рудные столбы наблюдаются в местах сопряжений основных и оперяющих трещин (СЗ 290-310° и СЗ 330-350°). Содержание золота в них в 3-4 раза превышает среднее по рудным телам.

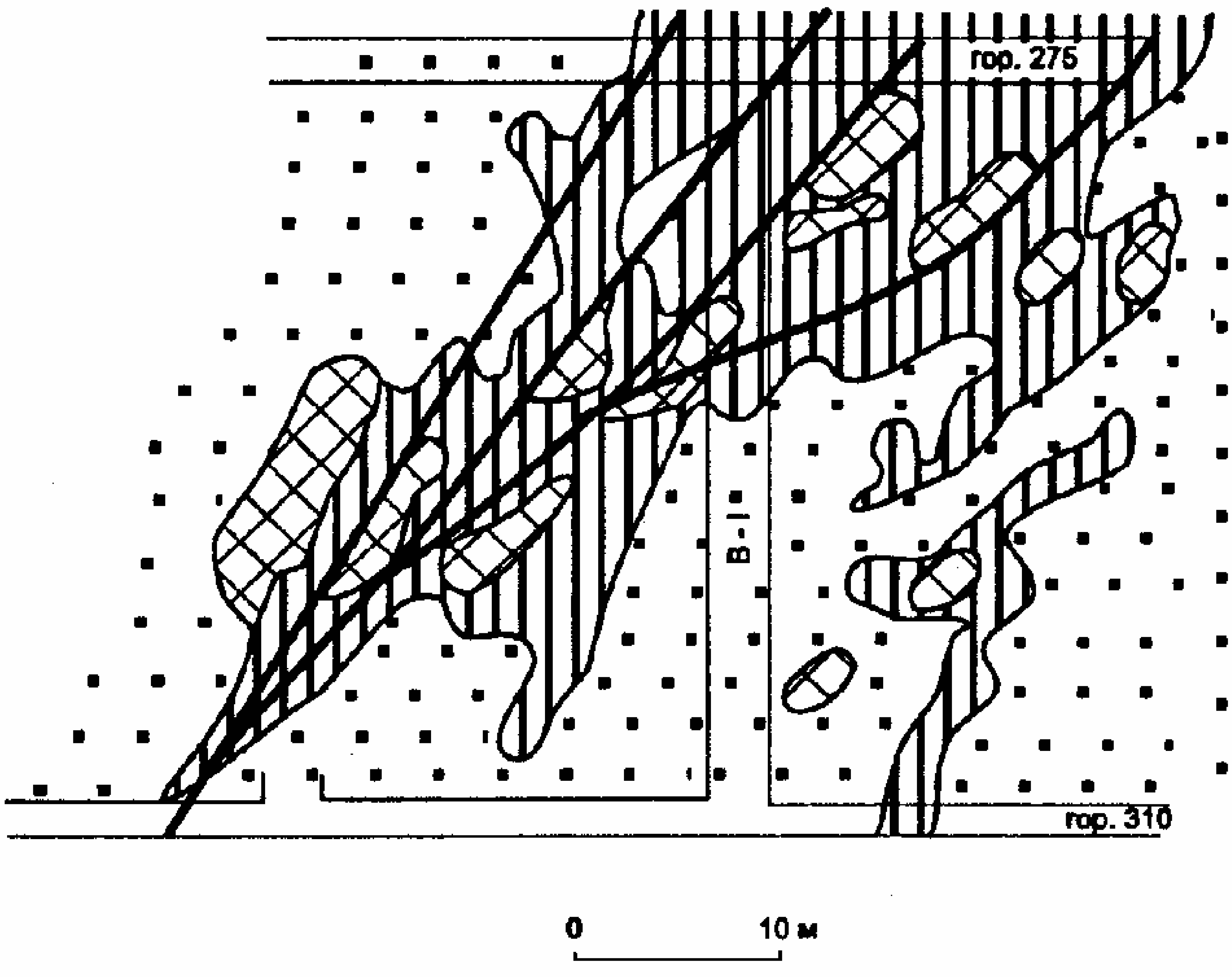


Рис. 35. Рудный столб на сопряжении трещин, жила Южная-2 месторождения Бестюбе (по Г.Б. Левину).

Условные обозначения см. на рис. 30.

Из приведенных примеров видно, что для столбов этого типа характерно закономерное возрастание концентраций золота в стыке рудовмещающих полостей; ограничение ширины столбов первыми десятками метров при различной его длине по падению и соотношении этих величин в пределах 3:1 до 12:1, совпадение "стержня" столбов с линией сочленения плоскостей сопрягающихся жил. Все известные столбы этого типа вне зависимости от их размеров имеют важное промышленное значение.

Рудные столбы на участках разветвления жил также распространенный тип. На рис. 36 на горизонте VIII и IX месторождения Бестюбе золотоносная жила Южная-2 на флангах расщепляется на ряд прожилков с несколько иным простиранием. Именно этими участками контролируется высокое содержание золота. В контуре столба выделяются гнезда особо богатых руд, содержания в которых составляют первые кг/т. Аналогичная картина наблюдается в жилах Дамской и Игрек месторождения Акжал. Фланги жилы расщепляются на пучки из трех составляющих — СЗ 310°, СЗ 280° и диагональной к ним СЗ 340°. Здесь концентрируются богатые руды. Протяженность обогащенных участков в плане не превышает 15 метров, зато по восстанию они прослеживаются до 150-200 метров. О богатстве рудных столбов этого типа свидетельствуют повсеместная выборочная их отработка на значительную глубину. В жилах постоянно встречается видимое самородное золото при устойчивом двухзначном содержании.

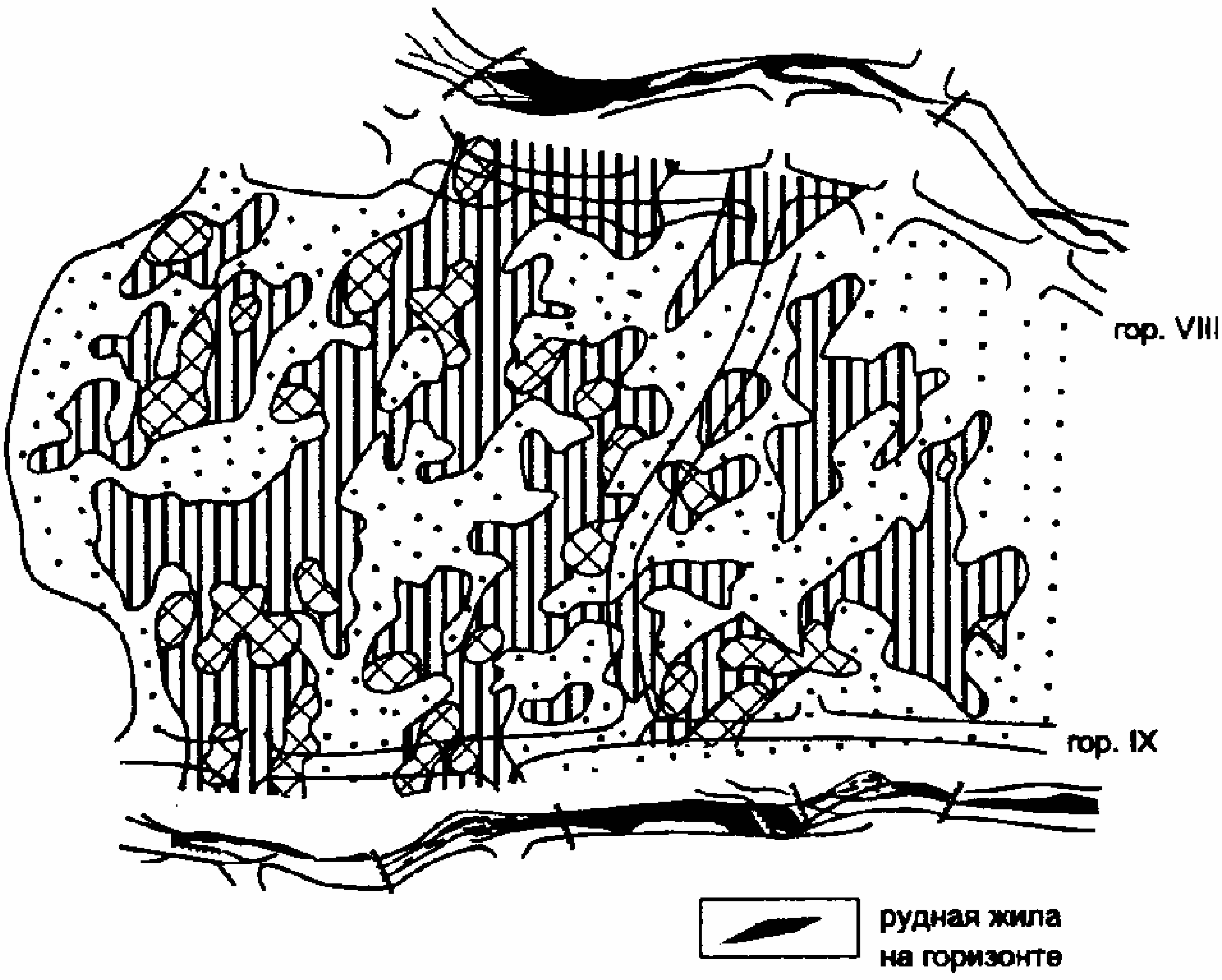


Рис. 36. Рудные столбы на участке расщепления жилы 63 месторождения Джеламбет (по Г.Б. Левину).

Условные обозначения см. на рис. 30.

Столбы экранирования.

Столбы экранирования пользуются широким распространением и имеют весьма важное промышленное значение. Решающую роль в локализации столбов данной группы играла дорудная тектоника и физические свойства вмещающих

пород. В зависимости от характера выполнения дорудных трещин в этой группе могут быть выделены следующие типы рудных столбов: экранированные дорудными трещинами, с глинкой трения; экранированные дайками; экранированные жилами в прототектонических трещинах и горизонтами непроницаемых осадочных пород.

Столбы, экранированные дорудными трещинами, наиболее распространены. Они установлены в месторождениях всех известных типов и имеют весьма важное промышленное значение. Для месторождений кварцево-жильного типа часто пологопадающие трещины сколового типа пересекают крутопадающие рудовмещающие. Полость пологой трещины выполнена тектонической глинкой трения. Со стороны лежачего бока этой трещины часто развивается рудный столб "Т"-образной формы и сложного контура с трехзначными содержаниями золота. В висячем ее боку кварцевая жила продолжается еще на 5-7 метров по восстанию крутопадающей трещины, а затем выклинивается. Особенно широко столбы этого типа представлены в золоторудных месторождениях Калбы. Экранами в этих месторождениях являются сколовые трещины северо-восточного простирания.

Рудные столбы, экранированные дайками, хотя и немногочисленны, но имеют важное промышленное значение. Обычно со стороны лежачего бока даек в жилах устанавливаются рудные столбы. Они характеризуются сложным извилистым контуром. Содержания золота в столбе заметно убывают в направлении удаления от дайки. В местах пересечения рудными телами даек повсеместно фиксируется резкое повышение концентрации золота. Протяженность рудных столбов по склонению достигает 150-200 метров, а по простиранию не превышает 10-20 метров.

Рудные столбы, экранированные жилами в прототектонических трещинах, пока представлены единичными случаями. Примером является столб жилы №5 месторождения Джетыгара (рис. 37). В верхних горизонтах крутопадающая жила №5 пересекает пологую прототектоническую трещину и вмещающую ее кварцевую незолотоносную линзу горизонта 32 метра. Со стороны лежачего бока этой линзы в жиле №5 развивается рудный столб. По площади он занимает 78% жилы. В пределах его контура, согласно данным распределения, выделены столбы последующих порядков. Содержание золота в них изменяется от 100 до 537 г/т, составляя в среднем 183 г/т. Этот столб в виде ленты различной ширины беспрерывно прослеживается вдоль линии сопряжений с линзой горизонта 32 метра. С удалением от этой линии по падению жилы содержание золота убывает. Столб выклинивается в виде отдельных узких языков.

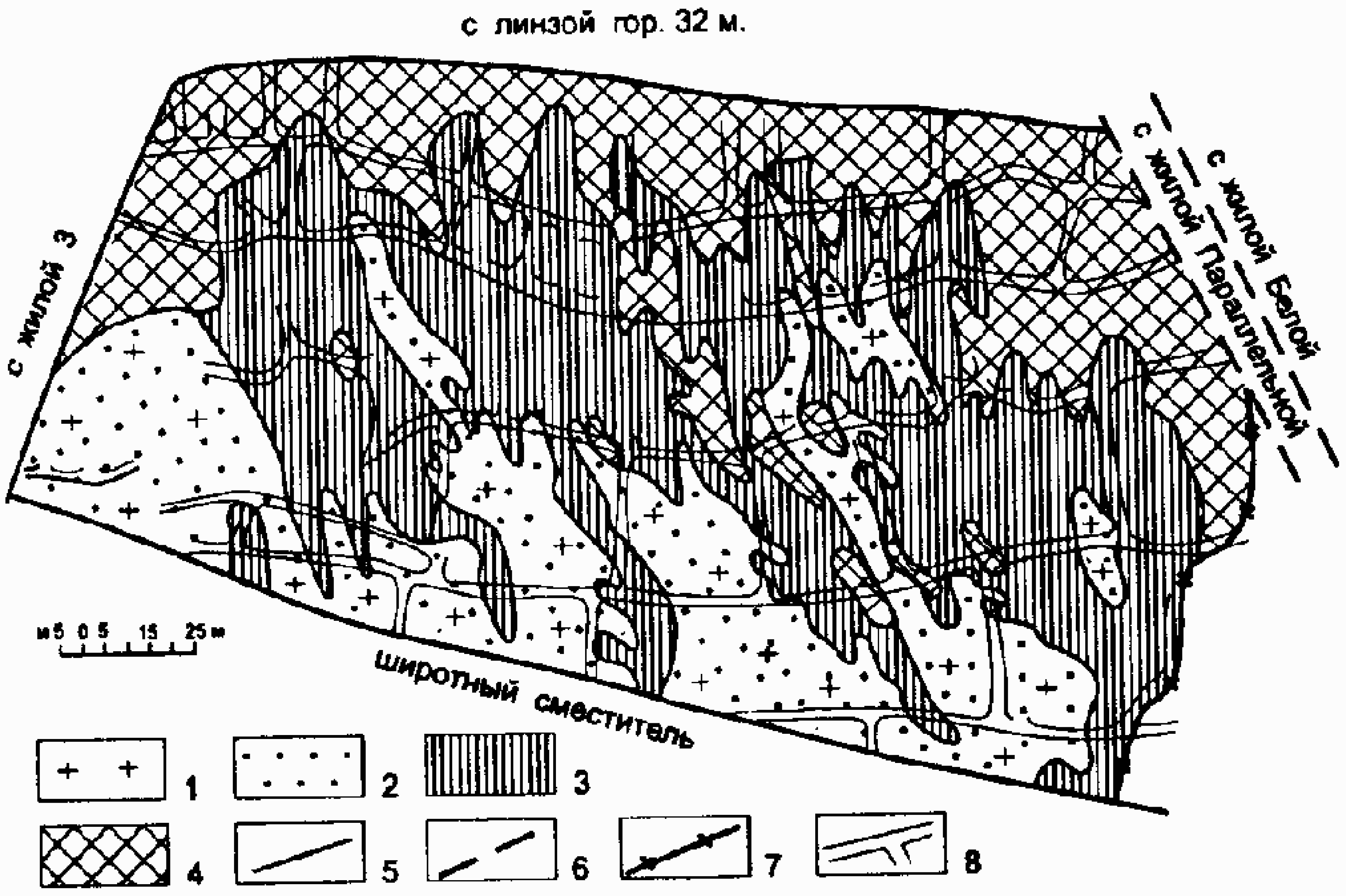


Рис. 37. Рудный столб экранирования в жиле №5 месторождения Джетыгара в проекции на плоскость падения (по Г.Б. Левину).

1 - граниты; 2 - диориты; 3 - серпентиниты; 4 - рядовые руды (10 г/т); 5 - столбы I порядка (40 г/т); 6 - столбы II порядка (более 100 г/т); 7 - глинка трения; 8 - геологические контакты; 9 - разрывные нарушения; 10 - выклинивание жилы; 11 - сочленение жилы; 12 - горные выработки.

Рудные столбы, экранированные горизонтами непроницаемых осадочных пород имеют наибольшее распространение на месторождениях, залегающих в терригенных толщах. Следует отметить, что данный тип экранирования имеет большое значение в размещении месторождений, обуславливая стратиформность их залегания. Группа экранированных рудных столбов полно описана в литературе. Их образование объясняется возникновением застойных режимов в подпруженных участках, на основе представлений о термостатированных структурах [Летников и Нарсеев, 1971].

Литологический контроль рудных столбов — явление широко распространенное на месторождениях редких, цветных и благородных металлов. Он выражается в образовании высоких концентраций полезных компонентов в рудных телах (особенно жилах) при пересечении ими пород особого состава: даек, пластов известняков, углеродистых пород, брекчий и т.п. Обычно образование высоких концентраций сопровождается изменением состава слагающих руды минеральных ассоциаций, возрастанием сульфидности, т.е. при литологическом контроле концентрационные рудные столбы одновременно являются и специфически минерализованными. Наиболее ярко литологический контроль рудных столбов проявлен на месторождениях с важной ролью метасоматических процессов. Менее четко этот контроль проявлен в типе кварцево-жильного выполнения. Здесь его роль как бы затушевана влиянием физико-механических свойств вмещающих пород. В зависимости от преобладающей роли химических или физико-механических свойств пород можно выделить столбы, обусловленные физико-механическими и физико-химическими свойствами пород.

Столбы первой группы локализуются, как правило, на контакте литологических разностей и являются следствием различной проницаемости (пористости, трещиноватости) или влияния теплофизических свойств вмещающих пород. Локализация столбов второй группы связана с химическим взаимодействием сульфид-, углерод-, карбонат-содержащих пород и рудоносных растворов.

Столбы на контактах пород различного состава и физико-механических свойств являются наиболее распространенными. Они широко представлены на месторождениях Казахстана и Сибири. Частично роль этого фактора отмечалась выше при описании структурных типов столбов. На месторождении Джетыгара во всех изученных жилах (Коренная, Пологая, №5 и №30) установлены столбы вдоль контакта гранодиоритовой апофизы и вмещающих ее змеевиков. Последние, очевидно, являются неблагоприятными, в силу своей вязкости, для образования трещин. Все жилы месторождения выклиниваются вдоль этого контакта или, меняя свой курс, следуют вдоль него на некоторое расстояние. В таких участках локализуются особо богатые рудные столбы, хотя их размеры по простиранию не превышают первых десяти метров.

В жиле Перспективная на месторождении Баладжал горизонтальный рудный столб контролируется роговиками вдоль их контакта с диабазами. Следует отметить, что для этого месторождения характерна четкая приуроченность рудных столбов к двум разновидностям пород зонально построенного интрузивного штока. Рудные столбы локализуются в близких по физическим свойствам диоритах и роговиках и отсутствуют или имеют подчиненное развитие в кварцевых диоритах и диабазах краевой фации.

Рудные столбы в участках пересечения благоприятных горизонтов (химически активных, обладающих повышенной сорбционной способностью и т.д.) могут быть продемонстрированы следующими примерами. В жиле Ретивая Кулуджунского рудного поля в Юго-Западной Калбе золоторудные столбы имеют склонение, соответствующее положению пачек углистых алевролитов (рис. 38). Шеелитоносные столбы отмечены в участках пересечения жилой пластов известковистых песчаников. В рудных телах многих месторождений Калбы рудные столбы локализуются в углисто-глинистых сланцах и углистых алевролитах, залегающих в толще полимиктовых песчаников. При этом устанавливается отчетливая приуроченность столбов к породам,

содержащим $C_{орг.}$ в оптимальном количестве — около 0,4-0,6%. Роль органики в локализации рудных столбов рассмотрена В.И. Баженовым на примере Андреевской жилы в Сарале. В.А. Богданович, описывая рудные столбы месторождения Советское (Енисейский кряж), также отмечает повышение содержания золота в жилах на участках, прилегающих к местам наибольшей концентрации в филлитах графитистого вещества. Для ряда приповерхностных месторождений Казахстана литологический контроль рудных столбов выражен отчетливо. Так, крупный столб карьера №1 (жила 20-21 месторождения Архарлы) склоняется в соответствии с падением пересекаемого жилой горизонта туфов порфиритов. При переходе жилы в андезитовые, трахиандезитовые порфириты и породы экструзивной фации интенсивность оруденения резко падает. Подобная картина характерна и для месторождений Прибалхашья. Здесь при выходе рудных зон за пределы тел эксплозивных брекчий в массивные порфириты продуктивность жил резко падает.

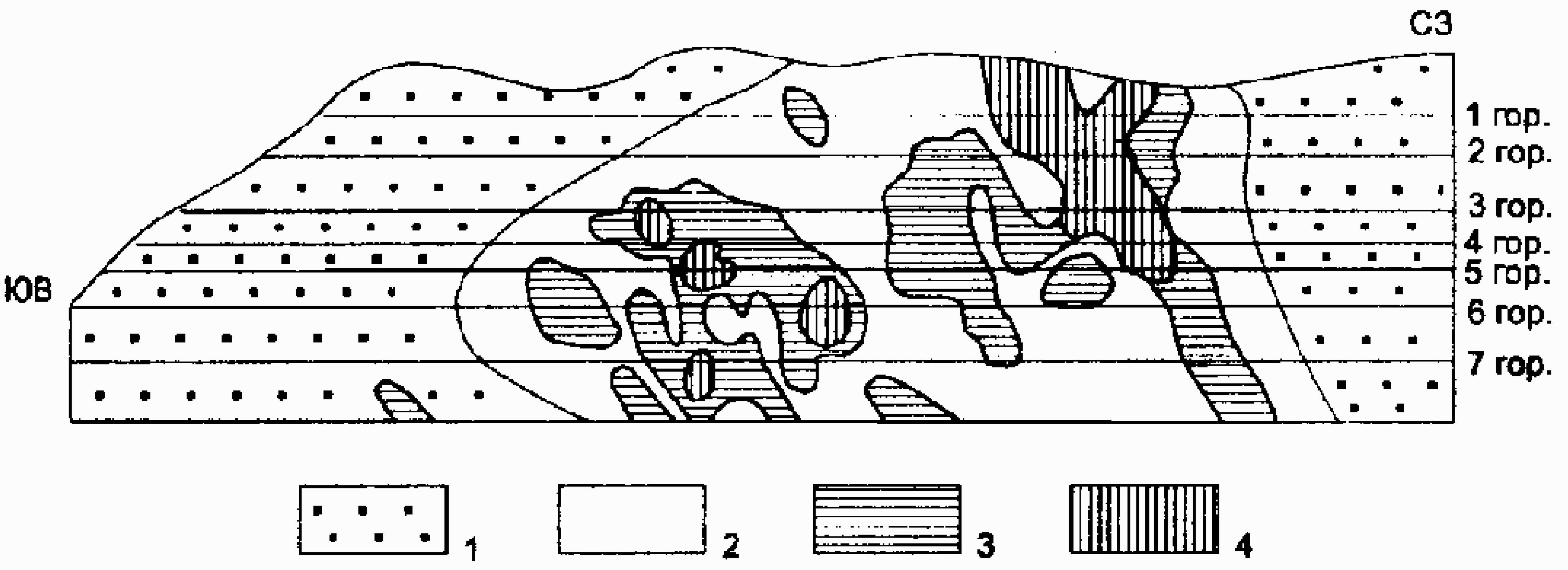


Рис. 38. Рудные столбы жилы Ретивая Кулуджунского рудного поля (Калба).

1 - песчаники; 2 - углистые сланцы и алевролиты; 3,4 - рудные столбы I и II порядка.

Интересный пример литологического контроля рудных столбов дают золоторудные месторождения в концентрически зональных массивах вторичных кварцитов. Наиболее типично в этом отношении месторождение Науразбай в Северном Прибалхашье. Рудный столб со средним содержанием золота 24,5 г/т и содержаниями серебра более 2,0 кг/т, а также свинца, цинка, меди, мышьяка и сурьмы (более 1% каждый) был приурочен к центральной зоне монокварцитов. В промежуточной серицитовой зоне среднее содержание золота составило 8,5 г/т, а во внешней серицит-диккитовой — лишь 4,1 г/т. Рудный столб имеет трубообразную форму и, склоняясь в сторону субвулканической интрузии гранит-порфиров, выклинивается на глубине 50 метров от поверхности.

Очень яркие примеры рудных столбов золоторудных месторождений приводит В. Эммонс [Emmons, 1937]. Типичен пример крупного рудного столба на месторождении Кохен Риф (Виктория, Австралия). Золото-кварцевые жилы в сланцах силура пересекают дайки диоритов. В местах пересечений формируются выдержанные столбы с очень высокими, на порядок превышающими среднее по жиле, содержаниями золота. Обильны примеры столбов на месторождениях золота Австралии [Geology..., 1953]. Так, по данным А.Б. Эдвардса на месторождении Кройдон рудные столбы возникают в жилах в местах пересечения ими графитистых сланцев и зон дробления; по данным Н.Л. Маркхама на месторождении Брокен Хилл в рудном теле Консолс Лоуд серебряные столбы локализованы в участках пересечения жил с телами амфиболитов; на месторождении Даун — жил и тел диоритов. Аналогичны позиции рудных столбов и в других золотоносных районах. Описаны рудные столбы на пересечении жил: на месторождении Касапалка — известковистых песчаников; на месторождении Сан Кристобаль — даек порфиров; на Агылкинском месторождении — дайки гранита; на Курганшинкане — амфиболитов; на Макмале — кварц-серицитовых пород; на месторождении Абукас — гранитных тел; на месторождении Сезия — углеродистых сланцев; на месторождении Тикапама-Айха — андезитов; на месторождении Фыншандун — гранатовых скарнов и другие. Яркий пример сочетания концентрационных и минера-

лизационных столбов приводит Ёнедо Тетсуро для месторождений Тодорки и Накано-сава. Здесь рудные столбы с высокими концентрациями благородных металлов и различными минеральными ассоциациями образуются в местах пересечения жилой Тюэцуки — риолитов, жилой Сюэцуки — алевролитов, жилой Наканосава — долеритов.

В большинстве случаев в пределах одной жилы совмещаются столбы нескольких типов. Например, в жилах Северная, Короткая, Интересная (Эспе) можно выделить столбы, контролируемые сопряжением или разветвлением, пережимом или раздувом жил, углублениями в рельефе рудовмещающей трещины, изменением простирания и углов падения жилы. В жиле №30 Джетыгары столбы установлены на изменении простирания и выклинивания жилы, в связи с криволинейной поверхностью, в пересечении разноориентированных трещин, вдоль контакта пород различного состава и др. В золотоносных жилах месторождения Баладжал можно выделить столбы на сопряжении, пересечении и разветвлении трещин экранирования; в благоприятных литологических разностях; на контакте пород различного состава. В жиле Южная-4 (Бестюбе) основным фактором контроля является рельеф поверхности рудовмещающей трещины. Вместе с тем здесь можно выделить столбы, связанные с разветвлением и сопряжением, пережимами жил, крутопадающими участками трещин, раздувами и пережимами мощности. В жиле 5 Джетыгары рудные столбы контролируются экранами, контактом пород различных физико-механических свойств, выклиниванием, изменением простирания и падения жилы.

Подобные примеры строения и контроля характерны для других месторождений. Продуктивность того или иного типа столба различна. Весьма показательными в этом смысле являются столбы отмеченной выше жилы №5 Джетыгары. Объем столбов всех типов составляет 47% от объема жилы и заключает 82% ее запасов. В том числе, на столб, обусловленный экранированием, приходится 52% запасов; на столб, контролируемый контактом пород, порядка 37%. Остальные 5 структурных типов столбов заключают в себе 11% запасов. Аналогичная картина распределения запасов наблюдается и в других жилах. Так, в жиле Параллельная (Акжал), заключающей 70% запасов всего месторождения, рудные столбы занимают 93% объема жилы. В том числе, в столбах экранирования северо-восточными трещинами сосредоточено 72%, сопряжением разноориентированных жил 18%, на остальные типы столбов (изменение простирания, пережимы жилы, выклинивание и др.) приходится 10% всех запасов жилы. Известны случаи, когда столбы простых структурных ловушек сливаются, как это имеет место в жиле №13, Южной-4 и Диагональной (Бестюбе), жилах 63 и Южной (Жолымбет) и других. В этих случаях запасы столбов и их содержания как бы утраиваются. Например, комбинированный столб жилы №13 (Бестюбе) заключает в себе 63% запасов жилы, хотя и занимает всего 18% ее объема. Из сказанного следует, что в пределах каждой конкретной жилы могут быть выделены главные и второстепенные рудные столбы.

Выше описывались в основном рудные столбы одного масштаба — характерные для рудных тел. Наблюдение за распределением богатых руд в телах, богатых рудных тел в системах (группах) жил, наиболее богатых групп жил в пределах месторождений, а месторождений в пределах рудных полей показывает, что каждый из указанных объектов может быть представлен как "рудный столб" определенного уровня масштабности. Предлагаемый подход и соподчиненность рудных столбов различной масштабности представляет интерес при познании закономерностей рудообразования. Он имеет важное практическое значение, т.к. позволяет оценить роль тех или иных факторов, влияющих на общее и конкретное распределение рудного вещества, а следовательно, разработать более эффективную и надежную основу поисково-оценочных и разведочных работ.

Положение рудных столбов в общей схеме зональности

Концентрационные и минерализационные рудные столбы обнаруживают четкую приуроченность к отдельным частям общей колонны минеральной зональности месторождений. Естественно, что максимальные концентрации и частота возникновения рудных столбов характерны для уровней отложения продуктивных ассоциаций в схеме зональности отложения и участков многократного наложения продуктивных ассоциаций в схеме телескопированной зональности. За пределами этих участков рудные столбы представлены более низкими уровнями концентрации.

Представительный материал по позиции рудных столбов Балейского рудного поля опубликован Н.В. Петровской и др., В.Г. Хомичем и др. [Балейское..., 1985] и многими другими исследователями. Согласно этим данным на глубину в рудных телах снижается количественно роль продуктивных ассоциаций, выклиниваются мелкие рудные столбы, уменьшается их общее число на продуктивном уровне. Обобщение опубликованных данных А.А. Сидорова, В.И. Гончарова, Ю.С. Бермана, Н.А. Шило по Северо-Востоку СССР; Г.И. Князева по Закарпатью; Д. Гушки и др. по Румынии; В. Эммонса по Ю. Америке; К. Нагасавы и др. по Японии; К. Коллоу по Филиппинам, Л. Денхольма по Фиджи и многих других, личные исследования автора дают основание определить положение рудных столбов и бонанцев в верхней трети жил и жильных систем близповерхностных месторождений. Для месторождений средних глубин рудные столбы преимущественно располагаются в средней части колонны зональности жил.

Особенностям вещественного состава столбов посвящены многочисленные работы Н.В. Петровской, М.С. Сахаровой, А.М. Хазагарова, Ф.Н. Шахова, Н.И. и М.Б. Бородаевских, Д.А. Тимофеевского и многих зарубежных геологов. Общими признаками рудных столбов считаются:

1. Высокая структурно-текстурная неоднородность рудных тел.
2. Наличие брекчий, полосчатости, колломорфных текстур.
3. Развитие минералов продуктивных ассоциаций (кварц II, сульфиды, сульфосоли, теллуриды и т.д.), появление сложных полисульфидных парагенезисов, слабо выраженная зональность.
4. Увеличение сульфидности руд (для случаев, когда золото связано с сульфидами).

К перечисленным следует добавить не менее важные признаки. К ним относится появление специфических кварцев и минералов, свойственных только данной жиле или месторождению. Так, с "синим" кварцем связаны богатые руды месторождения Акжал; зеленоватый прозрачный кварц сопровождает рудные столбы месторождений Калбы; серый жильный кварц контролирует уникально богатые столбы северо-казахстанских месторождений; белый сахаровидный кварц характерен для столбов в пологих жилах, а серый, интенсивно сульфидизированный — для столбов крутопадающих жил Джетыгары. Подобные примеры связи рудных столбов с цветовыми разновидностями кварца описаны Л.Г. Хмарь и С.Г. Ахтямовым для Кочкаря; А.М. Хазагаровым и А.Ю. Макаровым для Саралинской группы; Н.В. Петровской, В.А. Хомичем и др. для Балея; М.С. Сахаровой для Дарасуна; Е.М. Лазько для Советского и другими. Появление специфических кварцев либо в составе брекчий I рода (по Смолину), либо в виде зонально полосчатых агрегатов, наиболее благоприятно. Прямым признаком богатых руд в жилах приповерхностных месторождений служат ареалы распространения адуляра. В некоторых месторождениях контуры столбов совпадают с участками развития кремового кальцита, медово-желтого сфалерита (клейофана), самородного висмута, аргентита, пираргирита. Особое значение для рудных столбов приповерхностных месторождений имеют текстуры кварцев: ленточные, колломорфные, полосчато-фестончатые, брекчиевые, в строении которых участ-

вует кварц, адуляр, сульфиды продуктивных стадий и др. минералы. Здесь следует указать, что полосчатость, обусловленная цветовыми разновидностями кварца, менее благоприятна, чем образованная сульфидами. Перечень частных текстурно-минералогических признаков можно было бы продолжить, однако общим для рудных столбов всех месторождений является "признаковая" аномальность. Для концентрационных столбов минеральная зональность обычно не выражена, хотя отдельные ее элементы могут наблюдаться. Минерализационные, обычно сульфидные, столбы имеют стандартную зональность. Однако она неконтрастна, что обусловлено, видимо, лавинными процессами массовой кристаллизации рудных минералов и золота в рудных столбах.

Температурные условия формирования рудных столбов

Температуры образования рудных столбов жильных месторождений изучены довольно обстоятельно. Необходимо отметить, что для жильных месторождений в связи с концентрацией руд в виде столбов любые исследования начинаются с богатых участков как наиболее вскрытых выработками, представительных по составу, привлекательных для исследователя даже чисто в психологическом плане. Для близповерхностных месторождений температурный режим рудных столбов изучен на примерах месторождений Забайкалья (Ю.В. Ляхов и др.), Камчатки (Б.В. Гузман и др.), Охотско-Чукотского вулканического пояса (В.И.Гончаров и др.), Прибалхашско-Илийского пояса (В.А. Нарсеев, Е.В. Баханова и др.). Известен ряд работ по месторождениям Трансильвании, островных дуг Тихого океана, США, Боливии. По весьма представительным данным Ю.В. Ляхова (1965, 1968 и др.) на месторождении Балей продуктивные ассоциации рудных столбов формировались при температурах 245-220 и 190-150°С. При этом величины градиентов температур по падению жил составляет 20°С/100 м, а вектор совпадает с северо-восточным склонением рудных столбов. Нами детально изучено распределение температур рудных столбов месторождения Джунгарии. Продуктивная стадия включает несколько разновидностей кварца с различающимися температурами: друзовидный — 310-265 и 270-185°С; крупнозернистый аметистовидный — 245-205°С; зернистый темно-серый — 235-165°С; мелкозернистый прозрачный — 220-195°С; крупнозернистый с адуляром — 215-205°С. В рудных столбах и их самых богатых частях развит кварц с адуляром и зернистый темно-серый с полисульфидной минерализацией и золотом. По данным массовых измерений декрепитации различных кварцев установлена важная закономерность. Кварцы с максимальной разностью температур конца и начала декрепитации ($T_к$-$T_н$) = 320° характерны для самых богатых участков с содержаниями золота до первых кг/т, с $T_к$-$T_н$ = 150-170° — для рядовых руд, а с $T_к$-$T_н$ = 50-60° — для безрудных частей жил.

Для гипабиссальных месторождений также имеются обширные данные по Забайкалью, Саяну, Енисейскому кряжу, Австралии, Казахстану. По этим данным главная масса золота рудных столбов выделилась при температурах 275-220°С. Все они выделяются по данным декрепитации величиной $T_к$-$T_н$ = 200-400°, что соответствует (!) значениям этого параметра рудных столбов вулканогенных месторождений. Рудные столбы совпадают с максимумами интенсивности декрепитации — изолиния 20 имп./град. и $T_к$-$T_н$ (изолиния 320°).

Как показали результаты наших исследований и анализ литературных данных кварц рудных столбов характеризуется максимальной насыщенностью газово-жидкими включениями, что видимо, объясняется эффектом вскипания растворов при массовой кристаллизации. Кроме того, рудные столбы отмечаются максимальной длительностью сохранения оптимальных температур рудоотложения, что фиксируется максимумом $T_к$-$T_н$ декрепитации и объясняется на основе эффекта эндотермостатирования. В пределах столбов температурные градиенты незначительны (первые градусы на 100 м), хотя на фоне безрудных частей жил столбы выделяются четкими градиентами

(десятки градусов на 100 м). Эти закономерности распространяются на другие морфологические типы (табл. 76).

Таблица 76

Температурные особенности кварца рудных столбов месторождений золота

№№ п/п	Тип месторождения	Температура образования продуктивной стадии	Значение $T_к$-$T_н$, град.		Интенсивность декрепитации., имп/град.	
			рядовых руд	рудных столбов	рядовых руд	рудных столбов
1	Жильное близповерхностное	235-165°	20-100	250-270	5-10	50-100 и более
2	Жильное гипабиссальное	275-220°	100	200-350	5-7	50-70
3	Штокверковое плутоногенное	355-185°	100	200-250	3-5	50-60
4	Минерализованные зоны гипабиссальное	310-220°	50-100	200-300	5-7	20-30
5	Жильное метаморфогенное абиссальное	320-240°	10-20	50-70	3-5	20-30

Флюидный режим формирования рудных столбов

Выявление особенностей флюидного режима стало возможным благодаря широкому применению методов анализа включений и газовой хроматографии. Величина общей минерализации включений в кварце рудных столбов золото-кварцевого жильного месторождения Бестюбе составляет 0,1-0,2 г/л, при этом отчетливо выражена главная тенденция — рост минерализации от ранних стадий к основным продуктивным, а затем снижение на пострудных стадиях формирования. Состав ГЖВ гидрокарбонатно-натриевый, гидрокарбонатно-хлоридно-натриевый, величина отношения Na/K — 4,4-5,5. В процессе развития от ранней к продуктивной и, затем, к послерудной стадии, состав ГЖВ изменяется. Происходит снижение содержаний гидрокарбонат-иона, магния и повышение — хлора, натрия, калия, сульфат-иона. Закономерно изменяется в этом ряду и pH — от слабокислой (pH 6,5-7,0) до слабощелочной (pH 7,5-9,2). На продуктивной стадии в интервале глубин 100-500 м увеличиваются содержания Mg — в 2 раза, содержания других компонентов практически постоянны.

Для понимания динамики флюидного режима месторождений существенное значение имеют данные о степени взаимодействия флюидов со средой на различных стадиях, т.е. оценка “открытости-закрытости” системы. Решение этой задачи стало возможным благодаря успехам геохимии изотопов, в частности благородных газов (аргона, гелия). Исследования изотопного состава аргона включений в кварцах выявило ряд весьма интересных закономерностей. Для глубинных объектов роль воздушного аргона существенна в первичных включениях пострудных и во вторичных включениях дорудных и рудных кварцев. На месторождениях золота было изучено распределение содержаний воздушного аргона во включениях кварцевых жил. Вторичные включения содержат только воздушный аргон. Доля его закономерно понижается с повышением температуры декрепитации, составляя в первичных включениях кварцев продуктивной и дорудной стадии не более 10-12%. Максимальные количества радиогенного (ювенильного) аргона установлены для кварцев продуктивной стадии, особенно из богатых частей жил (рис. 39 и 40). Эти данные позволяют сделать вывод о высокой степени изолированности рудообразующей гидротермальной системы в стадию продуктивного минералообразования [Найденов и др., 1974].

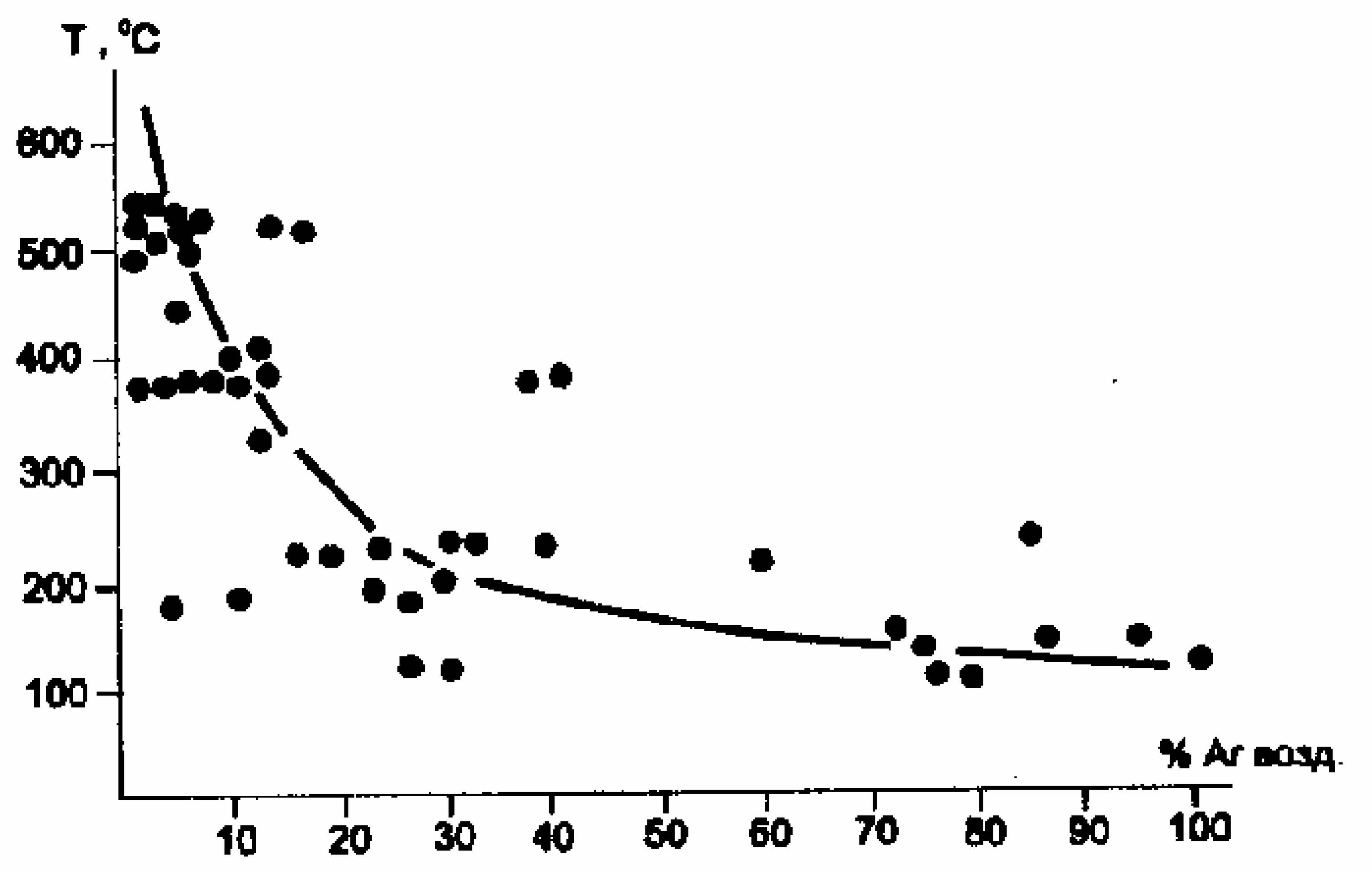


Рис. 39. Зависимость содержаний воздушного аргона от температуры декрепитации кварца.

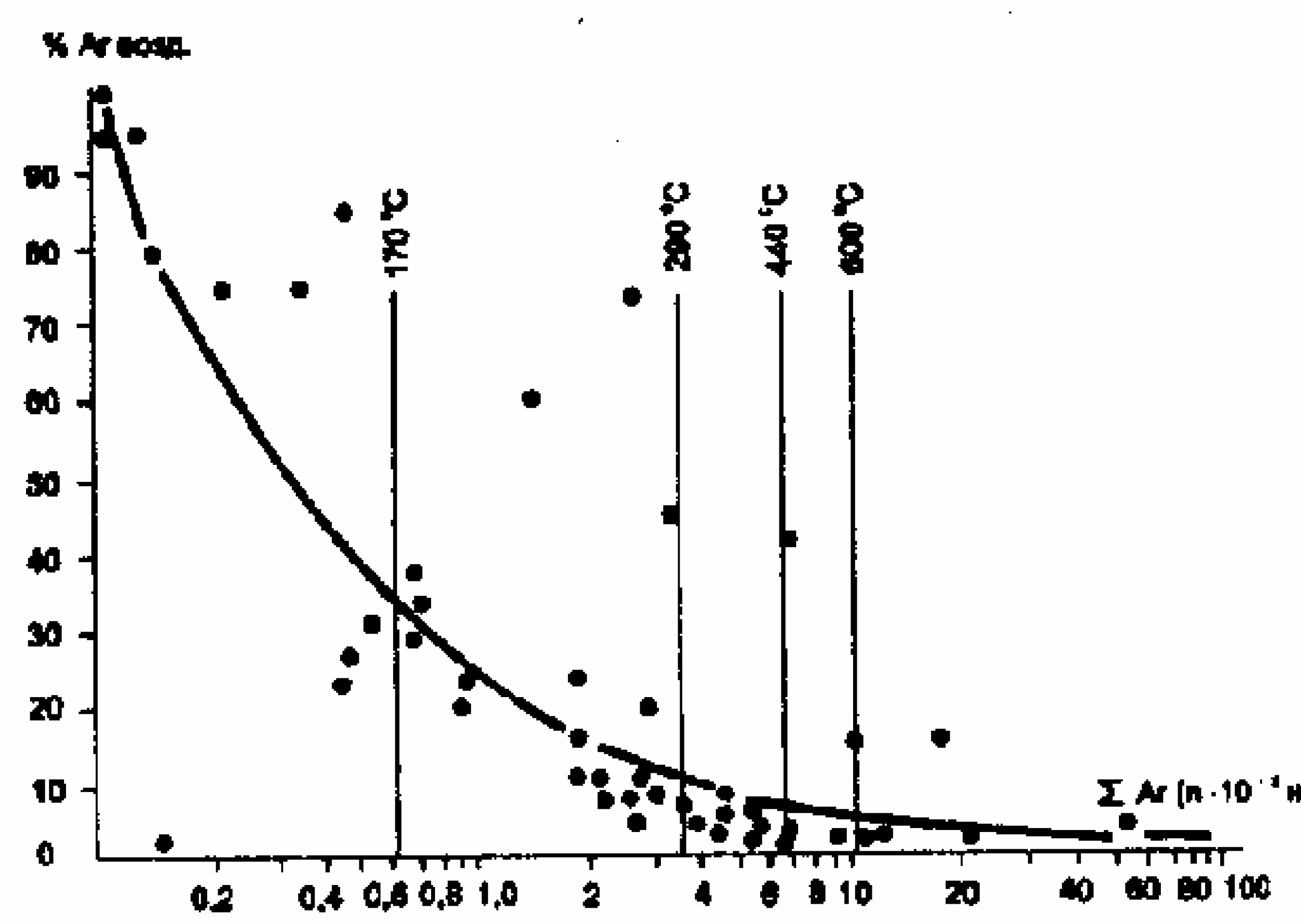


Рис. 40. Зависимость количества воздушного аргона от его общего количества во включениях.

Исследование состава рудообразующего флюида осуществлялось методами высокотемпературной газовой хромографии по методике Летникова, Шкарупа. На рис. 41 показаны распределения золота и флюидных компонентов в кварцевых жилах месторождения Бестюбе в проекции на вертикальную плоскость.

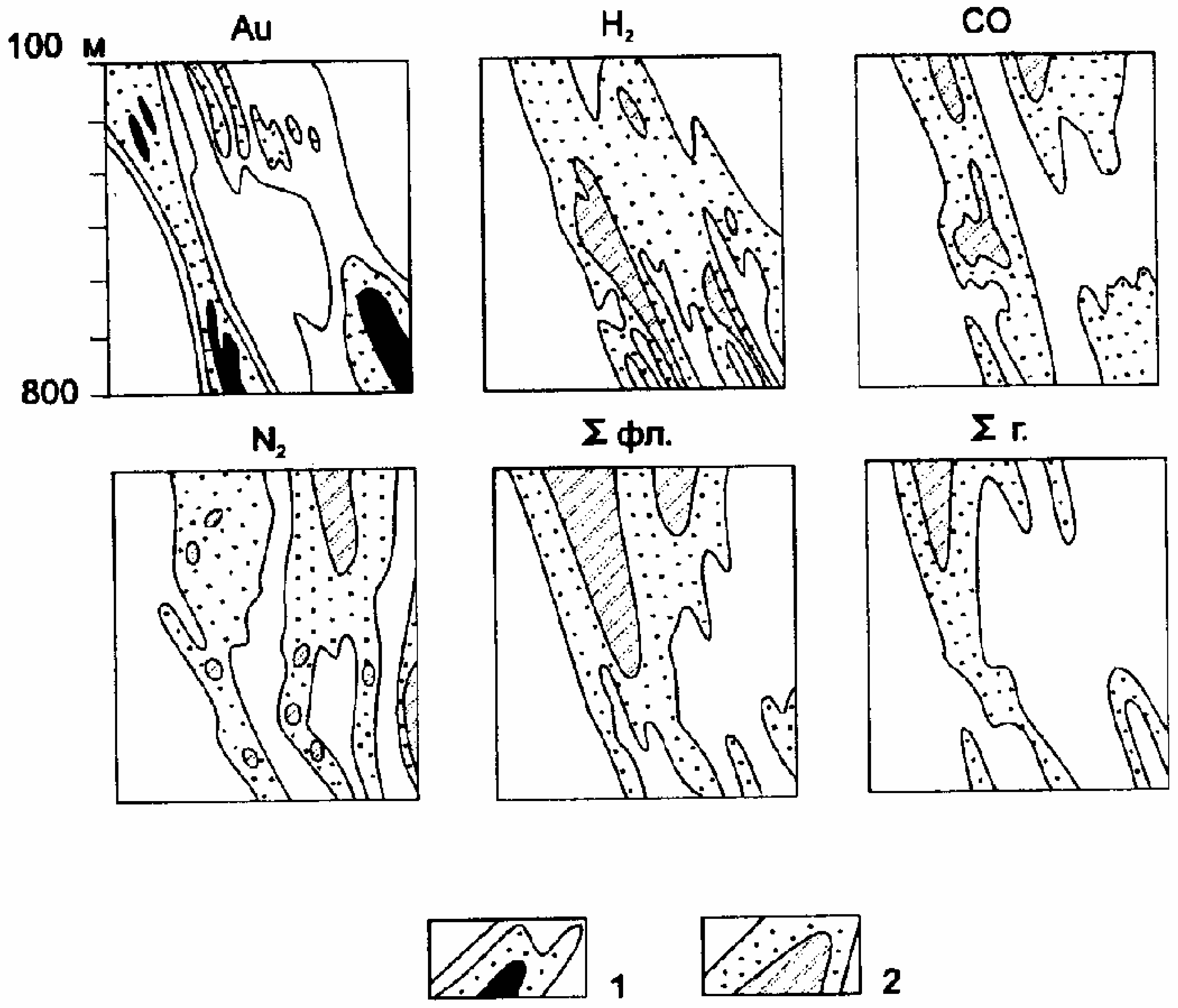


Рис. 41. Флюидные ореолы рудных столбов месторождения Бестюбе (Западный участок).

1 - рудные столбы; 2 - изолинии содержаний газов: H_2 - водорода, CO - оксида углерода, N_2 - азота, $\Sigma_{фл}$ - суммы флюидных компонентов (включая воду), $\Sigma_г$ - суммы газов.

Водород закономерно распределяется в изученной части жил: он отчетливо обогащает нижние их части. При сравнении положения богатых H_2 зон и золоторудных столбов видно, что водородом обогащены внешние ореольные части богатых руд.

CO распределяется аналогично H_2 относительно рудных столбов. Оба этих газа создают восстановительные барьеры, способствующие выпадению Au и образованию богатых руд. Эти ореолы восстановительных зон по восстанию рудных столбов имеют высоту 120-150 м.

Азот распределяется в изученном разрезе прямо противоположно H_2, образуя в верхних частях обширные и интенсивные ореолы. Необходимо учитывать возможность атмосферного происхождения N_2. Но вместе с тем, локальные в поперечном сечении и интенсивные "струи" азота на нижних горизонтах, сливающиеся на верхних горизонтах в общий мощный ореол, дают право говорить о глубинном источнике части N_2. Азотом обогащена дальняя периферия рудных столбов.

CO_2. Распределение CO_2 не обнаруживает отчетливых закономерностей. Это вероятно связано с загрязнением части проб карбонатом и последующим разложением его при высокотемпературных условиях эксперимента.

CH_4 распределен в жилах довольно равномерно и не характерен для богатых руд. Он создает внешний неконтрастный их ореол.

Суммарное содержание флюида ($\Sigma_{фл.}$). Распределение этого параметра вполне закономерно. Повышение содержания $\Sigma_{фл.}$ приурочены к верхним частям жил, обнаруживая обратную корреляцию с рудными столбами.

Сумма газов ($\Sigma_г$) в общем распределяется аналогично $\Sigma_{фл.}$, но более локально. $\Sigma_г$ отчетливо возрастает от нижних горизонтов к верхним, создавая широкий газовый ореол. Максимальные значения $\Sigma_г$ приурочены к участкам с низким содержанием золота.

Значения $К_В$ — коэффициента восстановленности, равного отношению содержаний восстановленных компонентов флюида к окисленным, подчеркивают наличие восстановительных барьеров и в целом положительный Е среды минералообразования. Рудные столбы оконтуриваются максимальными значениями $К_В$.

Таким образом, из всего изложенного следует, что рудные столбы в золото-кварцевых жилах характеризуются широкими ореолами CO, H_2, N_2, высокими значениями $К_В$ и низкими значениями параметров $\Sigma_{фл.}$ и $\Sigma_г$.

Геохимические особенности и критерии выделения рудных столбов

Этим понятием охватывается очень широкий круг свойств рудных столбов — распределение и зональность элементов, в т.ч. рудных (золота, серебра и др.) в самих столбах и первичных ореолах их рассеяния; изменение состава минералов, в т.ч. состава и пробности золота; различные физико-химические свойства минералов и производные от них различных порядков.

Пробность и состав золота в столбах испытывают колебания в пространстве. Однако, специальных исследований проведено недостаточно.

Н.М. Давиденко, Н.П. Чибисов тщательно изучили поведение золота в рудных столбах месторождения Каральвеем. Установлена смена форм выделения и размерности свободного золота (сверху вниз): прожилки, комковидные, кристаллические формы крупных размеров (4-6 мм и более) — изометричные мелкие (1-3 мм выделения) — мелко-тонкозернистые пластинчатые выделения в сульфидах. В этом направлении характерен ряд зональности примесей — мышьяк, серебро, медь, свинец при изменении Ag/Pb от 6,0 до 0,01, а также рост пробности с градиентом 10‰/100 м.

Специальные исследования вариаций пробности золота рудных столбов и за их пределами в большом интервале глубин проведены нами на жильном месторождении Бестюбе Северного Казахстана. Установлено, что в пределах отдельных жил градиенты пробности составляют первые промили/100 м в верхних частях и десятки промилей/100 м — в средних и нижних. Пробность золота в рудных столбах ниже, чем за их пределами на 30-50-100‰, а дисперсии среднего — существенно выше (табл. 77).

Таблица 77

Пробность золота в рудных столбах и за их пределами

№№ п/п	Рудные столбы					Непродуктивная часть жилы				
	пробность, %					пробность, %				
	п	от	до	среднее	коэф. вар.	п	от	до	среднее	коэф. вар.
Жила Южная - 4 (гор. 250 и 430 м)										
1	12	770	872	840	230	3	920	948	936	-
2	2	-	-	876	-	35	864	906	881	90
Жила 182 (гор. 250 м)										
3	15	770	895	845	180	22	802	900	893	60

Данных о вариациях состава примесей в золоте столбов очень мало. Л.Ф. Митрофанов в 1976 г. для жильного месторождения Ирокинда Сев.Бурятии установил рост содержаний железа в золоте от 0,017% до 0,05% с градиентом +0,03%/100 м.

Специальных работ по пиритам рудных столбов не опубликовано. Имеется обширный материал по пиритам, входящим в состав продуктивных ассоциаций, слагающих минерализационные рудные столбы. Нами исследованы также пириты на жильном месторождении Бестюбе (табл. 78). Наряду с направленными изменениями содержаний золота, серебра, цинка, мышьяка, кобальта отмечаются периодические и незакономерные колебания. Только по мышьяку, сурьме, висмуту и ртути пириты рудных столбов отличаются от пиритов за их пределами. В пиритах рудных столбов близповерхностного месторождения Архарлы только содержания серебра существенно выше, чем в пиритах других частей жил. Все другие элементы (золото, медь, свинец, цинк, никель, кобальт) имеют низкие концентрации.

Таблица 78

Содержания элементов-примесей (г/т) в пиритах продуктивной стадии рудных столбов Бестюбе

№№ п/п	Элементы-примеси	Горизонты (число проб)							
		1(5)	2(3)	3(6)	4(3)	5(3)	6(2)	7(2)	8(1)
1	Золото	5	7	8	10	10	12	25	50
2	Серебро	20	30	25	15	12	10	10	5
3	Свинец	40	20	125	20	18	10	10	6
4	Цинк	н.о.	н.о.	20	40	40	60	120	200
5	Медь	10	7	8	10	22	150	30	60
6	Мышьяк	100	100	150	200	200	250	300	400
7	Сурьма	250	150	150	100	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
8	Ртуть	0,15	0,10	0,06	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
9	Никель	5	15	10	8	5	3	15	3
10	Кобальт	10	10	20	120	30	130	150	180
11	Висмут	н.о.	1	12	1,5	0,5	н.о.	1	н.о.

В. Риол на примере руд месторождения Вудланд (Австралия) с помощью кластерного анализа показал, что в рудных столбах пириты содержат максимальные концентрации цинка, меди, кадмия, олова, висмута, мышьяка, свинца, сурьмы, серебра, при этом Co/Ni отношение наибольшее [Geology..., 1953].

Анализ литературных данных показывает, что в минерализационных столбах содержания элементов-примесей в пиритах всегда более высокие, чем в столбах структурного типа.

Причины образования рудных столбов

Приоритет теоретического объяснения положения рудных столбов принадлежит М.В. Ломоносову. Именно он в своих работах впервые высказал мысль о возможных причинах образования рудных тел и появления в них обогащенных участков. Условия образования рудных столбов М.В. Ломоносов объяснял взаимодействием трех основных факторов: структуры, химизма растворов и состава вмещающих пород. О роли структурного фактора он писал: "При этом примечено: 1) что главная жила без впадающих в нее щелей не очень надежна, затем что оне к жилам хорошую материю для обогащения в них находящихся руд приводят, 2) когда две жилы в одну сойдутся, то бывает из них сложенная рудами высоких металлов обильнее, нежели каждая из одиноких" [Ломоносов, 1957, стр. 158]. Анализируя случаи обрастания металлами органических остатков в старых рудниках он делает выводы о "переселении" их туда "каким-либо нибудь натуральным действием"... "Напротив того, когда рудокопы, ведая

в руднике места и пустые капи и какими безо всяких металлов, после появления серных паров по штольне вдруг увидят светлые руды, содержащие в себе свинец, медь, серебро и признаки золота; тогда справедливо заключают, что металл тут действительно родился; то есть произошел из смешения серной летучей материи с земляными или с каменными частицами..." [Ломоносов, 1957, стр. 88-89]. Процитированное вполне определенно показывает, что основные причины образования рудных столбов М.В. Ломоносов видел в структурных взаимоотношениях, химизме рудоносных растворов и роли вмещающих пород.

Полтора столетия спустя Ван-Хайз, говоря о причинах образования рудных столбов, практически подтвердил обобщения, сделанные М.В. Ломоносовым. Основными причинами по Ван-Хайзу следует считать: 1) структурные особенности; 2) влияние боковых пород и 3) вторичные концентрации, вызванные нисходящими водами. Наиболее распространенный в практике тип рудных столбов на пересечениях трещин он объяснял смешением растворов и, как следствие, осаждением некоторых компонентов.

Р. Пенроуз, в отличие от Ван-Хайза, решающее значение в образовании столбов отводит химическим свойствам боковых пород, а затем уже структурным особенностям (пересечениям трещин) и местным истечениям рудоносных растворов. Он полагает, что "... в плоскостях образуется столб не потому, что они открыты, а потому, что рудоносные растворы в них встречаются с растворами иного происхождения". Касаясь структурных условий Р. Пенроуз указывает, что "факт рудных столбов в пересечениях трещин скорее является исключением, чем правилом". Вместе с тем он считает, что выделенные факторы часто действуют совместно".

Специальную работу, посвященную причинам и условиям образования рудных столбов, опубликовал в 1929 г К.Д. Хьюлин. На основании детального изучения многих месторождений и обобщения многочисленных литературных источников, он приходит к выводу, что "рудные столбы, принадлежащие одному и тому же типу, повсюду характеризуются определенными сходными чертами". Они "не являются игрой случая, но представляют следствие воздействия определенных естественных причин. Отсюда должно вытекать, что эти причины, возможно подчиненные некоторым мелким местным отклонениям, могут считаться универсальными для данного типа рудных столбов" [Хьюлин, 1929, стр. 137]. Анализ причин позволил К.Д. Хьюлину сделать ряд важных заключений, объединяющих условия отложения руд и образования рудных столбов. По К.Д. Хьюлину "Отложение минералов в жильных месторождениях, следуя зональной теории, является в основе своей функцией концентрации раствора, температуры и давления. Минерализованные восходящие растворы с понижением температуры и давления приходят в состояние пересыщения с последующим отложением различных минеральных компонентов. Рудные столбы развиваются в тех частях жилы, в которых имеются пустые пространства, доступные для прохождения растворов в условиях, благоприятных для отложения ценных минералов. В общем случае минералы обычных тяжелых металлов, за исключением минералов олова и вольфрама, приносятся позднее в последовательном ходе минерализации. Более же ранний материал, заполняющий жилу, обычно состоит исключительно из безрудного кварца. Таким образом, заканчивается существование трещин, образующих безрудные кварцевые жилы, которые так и остаются безрудными, если не будут вновь приоткрыты впоследствии. Рудные же столбы там, где более ранние безрудные кварцевые жилы подвергаются раздроблению и вновь открываются передвижками, сопутствующими минерализации, во время, непосредственно предшествующее притоку металлических растворов. Локализация рудных столбов, таким образом, находится в прямой зависимости от благоприятности местных условий, природа которых объясняется действием сбросовых передвижек и раздроблений, сопутствующих минерализации. Отложение руд зависит от физико-химических условий: температуры, давления и концентрации

минеральных растворов, а условия локализации являются механическими и находятся в зависимости от благоприятного местного строения, связанного со сбросовыми движениями, происходящими одновременно с процессами минерализации" [Хьюлин, 1929, стр 139].

Придавая большое значение структурным особенностям К. Хьюлин, вместе с тем, не отрицал влияния вмещающих пород. Последним он отводил роль осадителя рудного вещества, связывая это с физическими и химическими свойствами пород. Основной же причиной образования рудных столбов в благоприятных структурных условиях, он считал смещение и застаивание рудоносных растворов.

В 1942 г, под редакцией В. Ньюхауза был издан сборник, в котором освещены структурные особенности 60 наиболее крупных эндогенных месторождений. Значительное место в нем отведено причинам образования рудных столбов.

В. Ньюхауз в обобщающей статье указанного сборника заключает, что образование рудных столбов является следствием двух групп факторов: физико-химических и структурных. К первым он относит минерализирующие растворы, их источник, концентрацию, температуру, давление, скорость течения и другие переменные. Говоря о структурной приуроченности обогащенных участков гидротермальных жил, В. Ньюхауз отдает предпочтение местам искривления поверхности сбросов. В зависимости о этих изгибов он приводит возможные варианты их приоткрывания вдоль рудоносных трещин. Следует отметить, что геометрические построения, положенные В. Ньюхаузом в основу анализа, не являются новыми. Они лишь подтверждают закономерности, установленные еще Н.К. Высоцким на примере Кочкарских золоторудных месторождений Урала. Вместе с тем, заслуга В. Ньюхауза заключается в том, что выделенные группы факторов в дальнейшем определили два главных направления исследований. Одно из них рассматривает структурно-литологический контроль размещения рудных столбов, другое — физико-химические условия их возникновения.

Ведущая роль структурного фактора в образовании рудных столбов подчеркивалась Ф.И. Вольфсоном, Л.И. Лукининым, Д.А. Тимофеевским, Д.А. Зенковым, А.В. Королевым, М.М. Константиновым, В.Э. Поярковым, В.М. Крейтером, А.М. Хазагаровым, П.А. Шехтманом, Е.М. Некрасовым, П.П. Утиным, Б.А. Саниным, В.А. Богдановичем и многими другими исследователями.

Причины образования рудных столбов, по мнению Г. Шнейдерхена [1958], могут быть тектонического характера: внезапные расширения трещин, пересечение рудной жилой какого-либо другого тектонического элемента, чередующиеся дифференциальные подвижки и выполнение рудой открывающихся полостей с раздроблением прежнего выполнения. Иногда большое значение может иметь состав боковых пород и вообще химические воздействия: пересечение рудной жилой пиритизированных, битуминозных слоев и прослоев туфов основного состава (часто называемых индикаторами), сильно глинистых разложенных пород или других рудных жил (облагораживание жил при их слиянии). Наконец, на характер жильного выполнения оказывают влияние условия залегания и тектоника вмещающих пород, особенно в случае подпруживания и концентрации рудных растворов, как например, это происходит в куполах антиклиналей. Вообще облагораживание вследствие подпруживания нередко может иметь существенное значение для локализации рудных столбов.

Ф.Н. Шахов [1964] подчеркивал, что для полного выяснения процесса образования богатых участков руд изучения одних структур недостаточно. Сами по себе структуры могут служить путями циркуляции минералообразующих растворов, но не важнейшей причиной выпадения из них вещества. Особое значение поэтому имеют исследования, устанавливающие во всем многообразии воздействие вмещающих пород на рудоносные растворы. Влияние вмещающих пород на образование и локализацию рудных столбов отмечалось в работах И. Ирвинга, В. Уида, К.И. Богдановича, В.А. Обручева, Г.С. Кряжева, М.М. Константинова, К.Н. Озерова, А.С. Великого, Н.Г.

Сергиева и М.В. Тащининой, П.М. Хренова, А.М. Хазагарова, В.И. Баженова и многих других. При этом Н.Г. Сергиев и М.В. Тащилина высказали интересные мысли о возможном влиянии на процесс рудоотложения электрических токов, вызываемых разностью потенциалов в различных участках Среды, в зависимости от особенностей ее состава. В.И. Баженов, изучавший золотоносные кварцевые жилы Саралинского месторождения, установил отчетливую приуроченность золото-сульфидных рудных столбов к участкам пересечения жилами горизонтов углистых и углисто-глинистых сланцев. Это позволило автору высказать мнение о том, что углеродсодержащие породы являются осадителями золота из растворов. Важную роль в формировании рудных столбов В.И. Баженов отводит электролитическому эффекту, возникающему в контакте эффузивов и углеродистых пород.

Г.Л. Поспелов [1962], рассматривая некоторые физические вопросы рудообразования, предложил гипотезу гидротермального промачивания, как стадии гидротермального рудообразования. Он показал, что морфологические особенности "промоченных" участков во многом предопределяют положение рудных столбов. Последние могут возникать в результате разных физико-химических процессов, в том числе, динамических ритмически-диффузионных и сорбционных явлений. Благоприятными участками для образования рудных столбов Г.Л. Поспелов считает места резкого изменения гидродинамического режима растворов как области оптимальной для химических реакций минералообразования.

П.Ф. Иванкин [1970] пришел к выводу о том, что в образовании рудных столбов важную роль играют не только факторы внешней геологической Среды, но и внутренние свойства самого гидротермального потока (геометрические особенности на разных глубинах, характер изменения плотности и химической активности в направлении движения, струйчатость, расслоение и др.). Рассматривая морфологические особенности объемных фигур рудных полей, он отмечает, что появление рудных столбов возможно лишь на стадии жидкостной эволюции рудоносного флюида, и в связи с этим определяет возможный вертикальный размах области их развития.

Из приведенного обзора наиболее авторитетных работ советских и зарубежных геологов видно, что образование рудных столбов обусловлено взаимодействием следующих факторов:

1. Благоприятными структурными условиями.

2. Благоприятным характером вмещающей Среды (физические и химические свойства пород).

3. Эволюцией и химизмом рудоносного раствора.

Роль и влияние каждого из факторов различными авторами оценивается по разному. Исходя из этого, причины образования рудных столбов в цитированных работах объясняются различно и могут быть следствием:

- дополнительного раздробления пород и повышенной трещиноватости в местах пересечений разломов;
- смешения растворов в пересечениях;
- смешения поверхностных (вадозовых) вод с подземными (иного состава) растворами;
- застаивания минерализованных рудоносных растворов;
- влияния физических и химических свойств боковых пород;
- наличия каналов циркуляции;
- задерживающих действий глинистых частиц и сбросах (фильтрационный эффект);
- осаждающих действий газовых струй, встречающих минерализованные растворы;
- понижения температуры и давления;
- повторной минерализации;

- электрических полей, возникающих в различных участках Среды, в зависимости от ее состава;

- изменения гидродинамического режима;

- изменения термодинамических свойств рудоносных растворов и других переменных.

Приведенные основные причины, наиболее часто упоминаемые в литературе, предложены в различное время. В своей сущности они отражают эволюцию взглядов в теории рудообразования. Каждой из них можно вполне удовлетворительно объяснить образование того или иного столба, контролируемого конкретной геологической обстановкой.

V. Прогнозная оценка глубоких горизонтов и флангов золоторудных месторождений

Эта задача возникает на всех стадиях изучения и освоения месторождений. По характеру поставленных задач и методологии их решения можно с определенной долей условности выделить три ситуации:

Оценка объекта на глубину по данным изучения только поверхности;

Оценка на глубину и флангов разведанного месторождения;

Оценка на глубину и флангов эксплуатируемого месторождения.

В таблице 79 показана последовательность операций и круг решаемых задач на каждой из них.

Таблица 79

Схема процедуры оценки на глубину и фланги золоторудных объектов

Этап	Операция	Задачи и решения		
		Ситуация I	Ситуация II	Ситуация III
Подготовка геологической основы	Составление (редакция) геологической карты рудного поля М 1:10000	Дешифрирование АФС, обработка АГСМ, наземной магнитометрии и других материалов - схема геол. строения РП	Свод геологических материалов, дешифрирование АФС, обработка аэро- наземных геофизических материалов - геол. карта М 1:10000	Свод всех данных ГРР*, пополнение данными наземного картирования - геол. карта М 1:10000 и геолого-структурная карта М 1:10000
				* при их отсутствии выполняются все задачи ситуации II
	Составление (редакция) геологической карты месторождения М 1:2000	Схема геол. строения М 1:2000 - 1:5000	Геол. карта М 1:2000 - 1:5000	Геолого-структурная карта М 1:2000 - 1:5000
	Обзор геологических материалов по месторождениям - аналогам	Таблица сопоставления	Таблицы сопоставления, схемы сопоставления	Схемы сопоставления, карты аналогов
Подготовка рудно-металлогенической основы	Определение рудно-формационной принадлежности объекта	Определение формационной принадлежности	Определение формационной принадлежности, минерального типа, промышленного типа	Определение минерального типа, промышленного типа
	Составление структурной схемы геологически однородных блоков	по поверхности	в трехмерном пространстве с определением знака и направления движения блоков, их размерности	в трехмерном пространстве с количественным описанием размерности блоков, знака и направления их перемещения

Таблица 79 (продолжение)

	Составление схемы развития метасоматитов	по поверхности	в разведанном трехмерном пространстве с определением внешней границы ореола слабых изменений и детализацией в его объеме	в трехмерном пространстве с детализацией в отдельных блоках, уточнением внешней границы слабых изменений
	Составление схемы геохимических полей	по поверхности	в разведанном трехмерном пространстве	в трехмерном пространстве с детализацией отдельных участков
	Составление схемы распределения минеральных ассоциаций и отдельных минералов	по поверхности	в объеме по разрезам разведочных линий	в объеме по данным ГРР и подземного изучения
	Определение структуры распределения (P_x) содержаний золота (и других рудных элементов)	по поверхности определение структуры распределения	в разведанном объеме определении ЭСР по разрезам	в объеме с разделением по горизонтам и блокам, определении ЭСР по блокам и горизонтам
	Составление схемы распределения золота в рудных типах и зонах (в изолиниях с учетом уровней концентрации)	продольный график	В отдельных РТ и пресс-проекции по РЗ Выделение PC График волнового распределения на глубину	В отдельных блоках, РТ, на пресс-проекциях РЗ Детализация PC График волнового распределения на глубину
Специальные исследования пород, руд и минералов	Изучение температур образования минералов и температурной зональности, определение grad T	данные точечных измерений	данные точечных измерений, проекции по отдельным РТ и пресс-проекции по РЗ, grad T	данные точечных измерений, проекции РТ, пресс-проекции РЗ, grad T
	Изучение ТЭДС пирита и арсенопирита (раздельно по разновидностям), определение возможного положения границ	данные точечных измерений	данные точечных измерений, проекции по отдельным РТ, пресс-проекции по РЗ, grad ТЭДС	то же
	Изучение состава и свойств минералов-индикаторов (кварц, карбонаты, пириты, сфалериты, арсенопириты, золото и др.)	данные точечных измерений	данные точечных измерений, распределение по разрезам, проекции РТ и пресс-проекции РЗ, grad свойств	то же
Обработка данных	Расчет градиентов свойств пород, руд и минералов (по падению и простиранию)	по простиранию на поверхности	по простиранию и падению по разрезам разведанных линий	в трехмерном пространстве с уточнением направлений вектор-градиентов свойств

Таблица 79 (продолжение)

	Построение линейных, площадных и объемных распределений свойств пород, руд и минералов с применением ПП "Элан"	линейное по простиранию	линейное, плоскостное по разрезам, трехмерное в разведанном пространстве	линейное, плоскостное и трехмерное
	Построение целевой функции с применением ПП "Элан"	-	В разведанном трехмерном пространстве	то же с учетом данных эксплуатации
	Анализ связей (корреляция трендов) свойств и экстраполяция в область прогноза			
	Расчет ресурсов P_1 и запасов C_2	C_2 и P_1	P_1	C_2 и P_1

Видно, что наиболее значительные по обоснованности результаты прогноза можно получить в ситуации III, которая характеризуется максимумом достоверной информации по объекту.

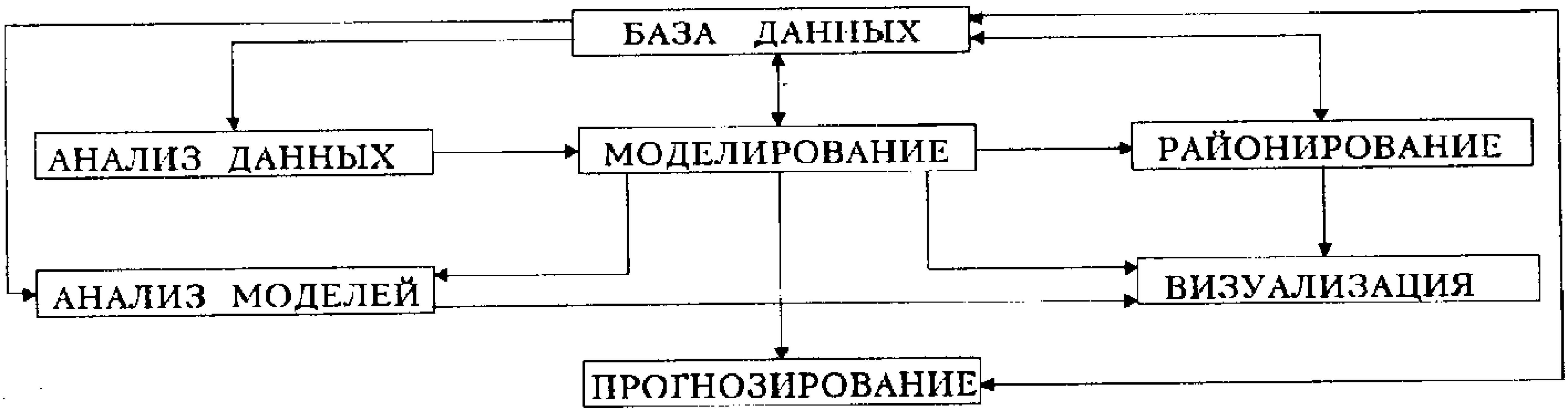
К прогнозируемым характеристикам (свойствам) объекта предъявляются требования содержательности; объективности определения; принадлежности к одному уровню иерархии; представительности (охвата пространства обучения и прогноза); затратной минимальности в определении.

Выбор оптимальных объемов описания определяется размерами однородных геологических блоков, с одной стороны, и реальными сетями наблюдений — с другой.

Построение трендов свойств объекта (линейных, площадных, объемных) осуществляется с применением ЭВМ. Подробный анализ современной методологии дан В.Л. Лосем [1994]. Сила и форма связи целевого параметра (запасы руды, запасы металла) со свойствами объекта определяются в геологически однородных блоках (областях) на основе корреляционного отношения с оптимизацией разбиения на интервалы независимой переменной (метод С.К. Сакояна).

Для решения задач количественного прогноза В.Л. Лосем с сотрудниками создан программный комплекс "ELAN". Помимо моделирования месторождений и прогнозирования с применением комплекса, в нем решаются и частные задачи — расчет статистических параметров и показателей геостатистики, тренд-анализ, поиск связей переменных, регрессионный анализ.

Программный комплекс реализован в виде диалоговой системы с многоуровневым оконным интерфейсом и развитой графикой, обеспечивающими пользователю дружественную среду для управления процессами и анализа результатов.



Структура программного комплекса моделирования и прогнозирования характеристик геологической среды.

Головной модуль системы связывает 6 подсистем и один вспомогательный блок. Подсистемы способны функционировать автономно, что делает систему гибкой и открытой для подсоединения дополнительных модулей.

Входными данными для каждой подсистем служат матрицы тапа "объект-признак", представленные в файлах одного или двух типов: файлы формата dbf (стандартный формат, используемый в СУБД Dbase, FoxBase, Clipper) и файлы с обычной текстовой информацией, которые могут быть подготовлены в любом редакторе текстов.

Подсистема "БАЗА ДАННЫХ" предназначена для хранения и обработки исходной информации — координат точек наблюдения и соответствующих значений характеристик геологической среды. Подсистема обладает широким спектром функциональных возможностей: ввод, редактирование и импорт данных, преобразование файлов из формата dbf в ASCII и обратно, добавление и удаление объектов (точек наблюдения), создание новых признаков, алгебраические и логические преобразования признаков, формирование выборок.

Подсистема "АНАЛИЗ ДАННЫХ", предназначенная для анализа однородности распределений значений признаков, состоит из следующих функциональных частей:

-построение гистограмм (с возможностью выбора шкалы и оценки однородности распределения)

- построение корреляционной решетки;

- расчет оптимального корреляционного отношения, характеризующего взаимосвязи признаков;

- геостатистика (построение вариограмм в заданном направлении), реализующая анализ пространственного распределения значений признаков.

Подсистема "МОДЕЛИРОВАНИЕ" осуществляет аппроксимацию значений наблюдаемых характеристик на узлы регулярной координатной сетки. В подсистеме реализованы развитый автором метод аппроксимации с помощью весовой функции, параметры которого, используя визуальный анализ их связи с радиусом влияния исходных точек на модельные, определяет пользователь, и метод скользящего окна с указанием пользователем вычисляемой в окне характеристики — среднее, минимальное, максимальное и медианное значения. Предусмотрен анализ рассогласования модельных данных и исходных и возможность коррекции модели.

Подсистема "АНАЛИЗ МОДЕЛИ" позволяет рассмотреть в графическом режиме файлы модельных значений характеристик, подготовленные в подсистеме "МОДЕЛИРОВАНИЕ", получить основные структурные характеристики выделенной пространственной области, как-то — объем, площадь поверхности, показатель компактности, основные статистические характеристики модельных значений признаков внутри выделенной области — среднее и медианное значения, дисперсию, энтропию. Кроме того, можно получить графики распределения модельных значений признаков по слоям координатной сетки и по набору окрестностей заданной точки. Интегральная характеристика "запас", вычисляемая здесь же, позволяет оценить суммарные значения признаков внутри выделенной области, что особенно важно при моделировании и оценке месторождений (подсчет запасов).

Подсистема "РАЙОНИРОВАНИЕ" осуществляет разбиение заданного региона на классы, характеризующиеся относительной однородностью распределения значений заданных признаков. Разбиения производятся оптимизационными методами в соответствии с выбранным критерием. Результат записывается в виде дополнительного признака, что дает возможность формирования в блоке "БАЗА ДАННЫХ" выборок, соответствующих однородным подрегионам.

Подсистема "ПРОГНОЗИРОВАНИЕ" включает в себя блоки:

построение целевой функции на основе разработанного автором алгоритма типа суммы одномерных нелинейностей;

расчет целевого признака как значений целевой функции, зависящей от прогнозирующих характеристик.

Вспомогательный блок "ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ" используется для просмотра пространственного распределения модельных и прогнозных значений признаков. Предусмотрена возможность получения изображения в виде послойных карт, изолиний (с возможностью выдачи на печать), аксонометрических проекций в разных ракурсах.

Пакет реализован на языке TurboC и предназначен для использования ПЭВМ типа IBM. Первый вариант системы был создан для ЭВМ серии ЕС.

Изложенная выше методология с применением ЭВМ требует больших затрат на подготовку базы данных, которые, как правило, отсутствуют на большинстве разведанных и эксплуатируемых месторождений. Создание таких баз данных — одна из важнейших задач геологической службы каждого предприятия.

В случае отсутствия базы данных может быть предложен более простой и, конечно, менее достоверный метод ускоренной оценки с ручным счетом. Его процедура включает:

Обобщение всех геологических, геофизических, минералого-геохимических данных по объекту с составлением схемы однородных блоков.

Сбор данных ТБГХ, измерений ТЭДС, анализов пород, руд и минералов с точечной привязкой в объеме месторождения и составлением проекций (на плоскость падения, на вертикальную или горизонтальную плоскость) рудных тел и пресс-проекций рудных зон с выделением границ однородных блоков.

Расчет градиентов свойств по реальным измерениям в направлении падения, простирания, склонения рудных тел в пределах однородных блоков.

Расчет возможной протяженности рудных тел и рудных зон от точки конкретного измерения, используемый для расчета свойств на основе градиентов в пределах однородных блоков.

Построение кривых P(x) по вычисленным с использованием различных свойств оценок возможной (экстраполируемой) протяженности рудных тел (зон) в данном направлении.

Определение моды (медианы) как наиболее вероятного значения параметров.

Прямой расчет ресурсов и запасов руды и металла в экстраполированном пространстве.

Важно подчеркнуть, что, во-первых, каждое свойство имеет ограничения по значениям. Например, пробность золота не может быть выше 1000‰ и ниже 450‰ (электрум); температура гомогенизации (или декрепитации) продуктивного кварца изменяется для каждого типа месторождений в определенных пределах — например, среднеглубинные кварцево-сульфидные жильные 360-200°C; железистость сфалерита — от 0,2-0,3% до 10-12% железа и т.д. Во-вторых, значения большинства свойств имеют волновой характер распределения, который должен учитываться либо априори, либо на основе конкретных данных по объекту прогноза. Контрольные расчеты для изучаемого объекта должны производиться на основе среднестатистических значений градиентов свойств для данного типа месторождений.

Ниже приводятся примеры использования описанной технологии на ряде месторождений различных типов [Нарсеев и др., 1989].

Березовское месторождение

Прогнозная оценка глубоких горизонтов и флангов месторождения, которое в настоящее время эксплуатируется, была начата в связи с тем, что сырьевая база рудни-

ка резко сократилась из-за неподтверждения запасов в южной части объекта, где считалось, что глубина распространения промышленных рудных тел является достаточно большой. Перспективы оруденения на глубине в северной половине месторождения оценивались отрицательно, что стало причиной ликвидации там шахт, через которые проводилась отработка рудных тел в верхних горизонтах.

Для оценки флангов и глубоких горизонтов на месторождении было проведено структурно-минералогическое картирование практически всех доступных для посещения подземных горных выработок, специально пробурено несколько структурно-поисковых скважин, керн которых всесторонне и детально изучался. Кроме того, были проведены геофизические исследования, в первую очередь с целью выявления строения месторождения на глубине. Большое внимание уделялось анализу фондовых материалов как чисто геологических, так и эксплуатационных. Результаты исследований отображались на различного масштаба разрезах, планах поверхности и подземных горизонтов, продольных проекциях и т.д.

По формационной принадлежности месторождение относится к золото-полисульфидно-кварцевой субформации. Оно приурочено к южной части крупной грабен-синклинали, ограниченной меридиональными, глубинного заложения, сложными по своему строению разломами типа сбросо-сдвигов. Между этими разломами породы разбиты на крупные блоки аналогичными субширотными нарушениями, которые играют роль рудоконтролирующих структур. Помимо рассматриваемого месторождения в пределах грабен-синклинали известно еще несколько аналогичных по типу объектов. Анализ их положения в структуре района и основных параметров показывает, что вертикальный размах оруденения на месторождениях в северной части площади является минимальным. По мере продвижения к югу он закономерно возрастает и достигает наибольших значений в пределах оцениваемого объекта.

Строение месторождения сложное. В его пределах широко развиты переслаивающиеся пологозалегающие осадочные и вулканогенно-осадочные породы, среди которых отмечены пластообразные тела порфиритов, вариолитов, афиритов, диабазов, а также оталькованных и карбонатизированных серпентинитов. Последние по представлениям прошлых лет считались своеобразным "фундаментом", подстилающим месторождение и ограничивающим распространение оруденения на глубину. Оказалось, что серпентиниты представляют собой тело мощностью, не превышающей десятков — первых сотен метров. В южной части объекта на поверхность выходят граниты. По данным гравиметрических исследований, на глубине они представляют собой крупный батолит, поверхность которого, образуя ряд выступов, в целом погружается к северу под углом 25-30°.

Важным элементом строения месторождения являются дайки, образующие крупное поле. При преобладающем меридиональном простирании они образуют серию свит, сходящихся по мере приближения к выступам гранитов. Горизонтальная и вертикальная протяженность даек определяется, соответственно, километрами — сотнями метров. Мощность не превышает 15-20 м. С глубиной и в сторону флангов она постепенно уменьшается. Форма даек сравнительно простая, плитообразная. Она становится сложной лишь при пересечении дайками зон древних разломов и рассланцевания или при залегании в сильно оталькованных и карбонатизированных серпентинитах. В неизмененных или слабо измененных породах данного типа дайки обычно отсутствуют.

По составу и последовательности формирования дайки объединяются в восемь групп, возникших в три самостоятельных цикла:

I — плагиосиенит-порфиры, лампрофиры;

II — гранит-порфиры, плагиогранит-порфиры, плагиосиенит-порфиры, лампрофиры;

III — гранит-порфиры, плагиогранит-порфиры.

Основные сведения о дайках приведены в табл. 80

Таблица 80

Некоторые сведения о дайках месторождения

Циклы	Состав и последовательность формирования	Характер разломов, выполненных дайками	Средняя мощность, м	Элементы залегания		Распространенность в процентах к общему количеству	Промышленная ценность при залегании в благоприятных геологических условиях
				Азимут падения, град	Угол падения, град		
I	Плагио-сиенит-порфиры	Надвиги	10-15	270-310 360-10	25-30	50	Как исключение отрабатываются отдельные небольшие участки в местах пересечения с промышленными дайками II и III циклов
	Лампрофиры	Не установлен	6-10	280-290	50-80	2	Низкая, выборочно отрабатывались лишь отдельные участки в верхних горизонтах
II	Гранит-порфиры	Сбросы	10-12	100-120	40-50	10	Высокая, часто на значительных интервалах
	Плагио-гранит-порфиры	Сбросо-сдвиги	8-15	20-40	30-50	2	Промышленной ценности не представляет
	Плагио-сиенит-порфиры	Сбросы	10-12	5-10	45-50	1	
	Лампрофиры	Не установлен	2-4	Различные		1	
III	Гранит-порфиры	Сбросо-сдвиги	8-12	90-110 (иногда обратный)	75-80	4	Весьма высокая на больших интервалах
	Плагио-гранит-порфиры	Сбросо-сдвиги	8-12	90-110 (иногда обратный)	75-80	30	

Рудные тела месторождения представлены жилами шеелит-турмалин-кварцевого и сульфидно-кварцевого состава. Первые пересекаются всеми дайками и сформировались в ранний этап проявления гидротермальной деятельности. Вторые возникли после даек и, обычно, залегая в них, образуют типичную лестничную систему (дайковые жилы). Реже жилы выходят за пределы даек и продолжаются во вмещающих породах на протяжении до первых сотен метров (красичные жилы).

Жилы шеелит-турмалин-кварцевого состава не представляют промышленной ценности. Они известны только в южной части месторождения, где образуют прилегающую к гранитам зону шириной, равной первым километрам.

Жилы сульфидно-кварцевого состава встречаются в пределах всего месторождения. Суммарная мощность их по отношению к единице длины даек составляет 4-8 %. Наиболее густая сеть жил наблюдается в дайках, имеющих крутое падение. В пологопадающих, особенно в плагиосиенит-порфирах, жилы встречаются редко. Количество дайковых жил зависит также от механических свойств пород и степени нарушенности их древними дизъюнктивными нарушениями.

Минеральный состав жил разнообразен. В рудных телах шеелит-турмалин-кварцевого состава могут быть выделены три ассоциации минералов: шеелит-кварцевая, турмалин-кварцевая, и анкеритовая, а в телах сульфидно-кварцевого — четыре: анкерит-кварцевая (незолотоносная), пирит-кварцевая (слабозолотоносная), полиметаллическая (высокозолотоносная) и карбонатная (незолотоносная). В состав

анкерит-кварцевой ассоциации, помимо кварца и анкерита, которые составляют 80-95 % жильной массы, в небольших количествах входят крупнозернистый пирит, гематит, магнетит. Пирит-кварцевая ассоциация представлена кварцем, карбонатом, шеелитом, крупнозернистым пиритом. Количество последнего 20-25 %. Золото связано только с пиритом и присутствует в нем в виде редких мелких зерен, а также тонкодисперсной примеси. Основными рудными минералами полиметаллической ассоциации (в последовательности их выделения) являются мелкозернистый пирит, сфалерит, блеклая руда, галенит, айкинит, халькопирит, золото. Из нерудных в небольшом количестве присутствуют кварц, карбонат. Золото данной ассоциации связано с сульфидами и представлено более крупными выделениями, чем в предыдущем случае, часто видимым при небольших увеличениях под микроскопом и даже невооруженным глазом. Карбонатная ассоциация минералов (доломит, кальцит) проявлена главным образом на участках, где дайки залегают среди метаморфизованных серпентинитов.

При детальном изучении месторождения в его пределах была установлена эндогенная зональность. Выражена она в том, что минералы анкерит-кварцевой ассоциации распространены в пределах всего объекта, пирит-кварцевой — образуют различные по размерам изолированные поля, отсутствуя или встречаясь в небольшом количестве на флангах месторождения. Минералы полиметаллической ассоциации развиваются преимущественно в пределах центральных частей зон минералов пирит-кварцевого парагенезиса (рис. 42).

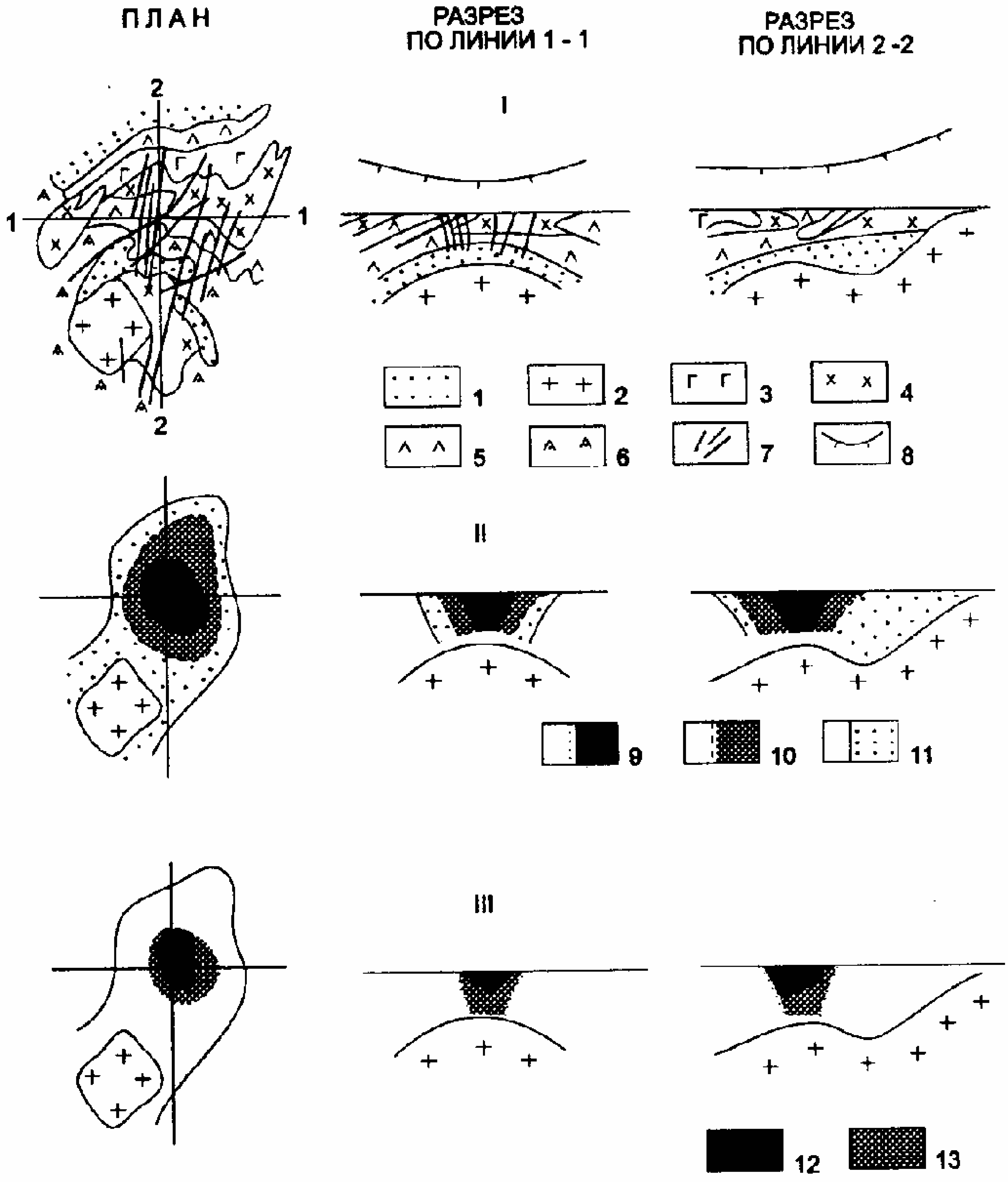


Рис. 42. Схемы геологического строения месторождения (I), минеральной зональности (II) и изменения состава блеклых руд (III) (по И.Т. Самарцеву).

1 - осадочные и вулканогенно-осадочные породы; 2 - гранитоиды; 3 - габбро; 4 - серпентиниты; 5 - диабазы; 6 - базальтовые афириты, вариолиты; 7 - рудные тела (дайки, содержащие сульфидно-кварцевые жилы); 8 - поверхность, существовавшая в период рудообразования; 9-11 - зоны развития минеральных ассоциаций: 9 - анкерит-кварцевой, пирит-кварцевой, полиметаллической (текстуры руд - брекчиевые, полосчатые, друзовые, вкрапленные), 10 - анкерит-кварцевой, пирит-кварцевой (текстуры руд - полосчатые, вкрапленные, реже друзовые), 11 - анкерит-кварцевой (текстуры руд - массивные, вкрапленные); 12-13 - состав блеклых руд: 12 - существенно мышьяковистые, 13 - существенно сурьмяные

В контурах зон развития ассоциаций минералы распространены неравномерно. В частности, в пределах ареала полиметаллического парагенезиса практически на всех уровнях отмечается увеличение в восточном направлении общего количества сульфидов (от 5-10 до 25-30 %), блеклой руды, галенита, сфалерита. Обратная картина наблюдается в распределении айкинита. Максимальное его количество приурочено к рудным телам в западной части месторождения. Халькопирит преобладает на севере объекта. С глубиной общий характер минеральной зональности изменяется примерно так же, как и в верхних горизонтах в направлении от центра к флангам. В верхних горизонтах развиты все парагенезисы, с глубиной вначале исчезают минералы полиметаллической ассоциации, а затем пирит-кварцевой. При этом полиметаллическая ассоциация наибольший вертикальный размах имеет в центральной и северной части месторождения. Глубина ее распространения постепенно уменьшается в направлении к западу, востоку и югу.

Эндогенная зональность проявлена также в изменении в пространстве: 1) состава и свойств некоторых минералов, 2) содержаний в них элементов-примесей, 3) текстур и структур руд, 4) температур декрепитации кварца, 5) пьезоэлектрических свойств кварца, 6) состава околорудных метасоматитов, 7) первичных ореолов рассеяния, 8) форм выделения и пробности золота и др.

В зоне развития минералов полиметаллической ассоциации имеет место закономерное изменение состава блеклых руд. В центральной части зоны эти минералы представлены мышьяковистыми разностями, в краевых и глубинных — сурьмяными. Пирит, входящий в состав полиметаллической ассоциации, содержит элементы-примеси в количестве до 2-3 %, среди которых преобладают серебро, свинец, цинк, медь. В пиритах более раннего парагенезиса присутствуют в основном сурьма, кобальт, титан, марганец. Суммарное количество их не превышает 1,0-1,5 %. В кварце из рудных тел центральной части месторождения отмечаются повышенные содержания серебра, меди, свинца, висмута, сурьмы, пониженные — никеля, вольфрама, марганца. Текстуры пород в зоне минералов наиболее золотоносной полиметаллической ассоциации брекчиевые, друзовые, полосчатые. В других местах они вкрапленные или массивные.

Температурная зональность месторождения по своему характеру сложная. Как показали проведенные исследования, в центральной части объекта температуры декрепитации кварца ранних непродуктивного и слабопродуктивного парагенезисов с глубиной и в направлении к югу закономерно растут. Обратная картина свойственна кварцу полиметаллической ассоциации. Наряду с этим с глубиной, а также в сторону от центра месторождения к флангам происходит увеличение значений пьезомодулей кварца (рис. 43).

Гидротермальные изменения пород дайковых жил выражена в березитизации, красичных — в лиственитизации. В контурах продуктивных минеральных парагенезисов березитизация проявлена наиболее сильно. Здесь в метасоматитах отмечается густая вкрапленность сульфидов, состав которой соответствует рудной минерализации жил. В зонах, где жилы слабозолотоносны или незолотоносны, присутствует в основном пирит в виде отдельной мелкой вкрапленности.

Если проанализировать химический состав березитов околорудных тел с различной степенью сульфидной минерализации и в зависимости от этого обладающих различной золотоносностью, то легко заметить, что в зонах развития продуктивных ассоциаций содержание SiO_2, Al_2O_3, K_2O и Na_2O равно, соответственно, 50,0-60,0; 25,0-35,0; 5,0-10,0; 0,5-0,6 %, а за их пределами — 65,0-75,0; 15,5-16,0; 3,5-4,5; 0,9-1,5 %. Зональность лиственитов проявлена в том, что в них с глубиной уменьшается количество фуксита, карбоната и пирита.

Эндогенные ореолы рассеяния на месторождении достаточно контрастны. Основной их особенностью является то, что преобладающие в центральной части зоны

развития рудных тел серебро, медь, свинец, никель с глубиной и к периферии сменяются мышьяком, оловом, цинком, кобальтом, вольфрамом, хромом.

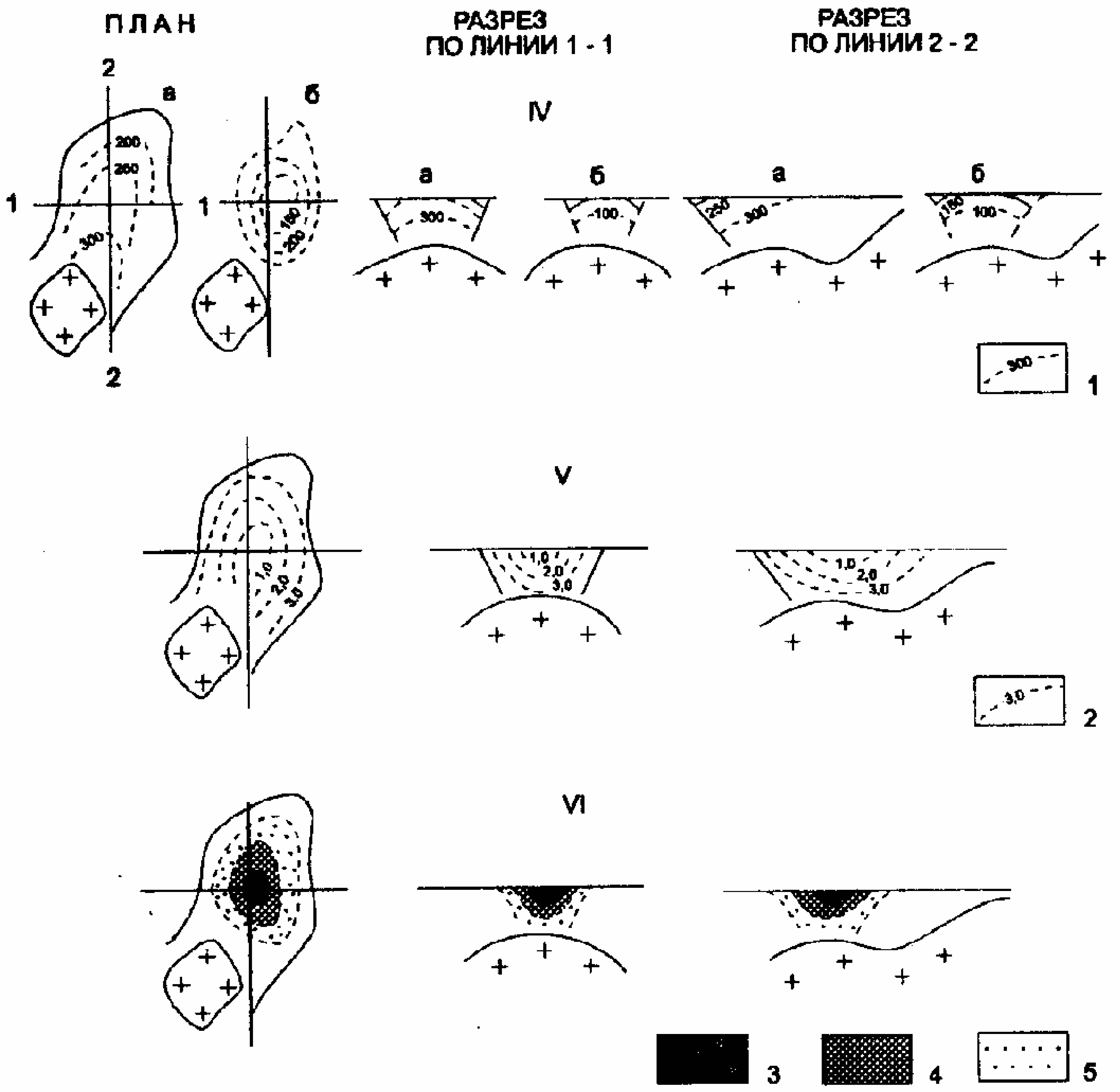


Рис. 43. Схемы температурной зональности (IV), изменения значений пьезомодулей кварца (V) и термо-эдс сульфидов (VI) (по И.Т. Самарцеву).

1 - температура декрепитации кварца в зонах развития минералов анкерит-кварцевой (а) и пирит-кварцевой (б) ассоциаций; 2 - изолинии значений пьезомодулей кварца (кг/н); 3-5 - термо-эдс пирита: 3 - преобладает дырочный тип проводимости (60%), 4 - преобладает электронный тип проводимости (70%), 5 - преобладает электронный тип проводимости (80-90%)

Зональность на месторождении характеризуется также особенностями изменения в пространстве размерности золота и его пробности. Золото, входящее в состав пирит-кварцевой ассоциации, мелкое. В верхних горизонтах размеры его не превышают долей миллиметра и становятся еще меньше по мере приближения к корневым и фланговым частям месторождения. Пробность золота при этом растет от 850 до 960. Золото полиметаллической ассоциации более крупное, часто видимое невооруженным глазом. Размеры его выделений с глубиной увеличиваются иногда до самородков в несколько сантиметров в поперечнике. Это сопровождается снижением пробности золота от 890 до 680. Примерно то же наблюдается в направлении от центра месторождения к периферии. В верхних горизонтах золото полиметаллической ассоциации пространственно совмещено с сульфидами. На глубине и флангах месторождения оно тяготеет к центральным частям скоплений карбонатов, которые образуют в жилах линзовидные зоны, иногда значительной длины (рис. 44).

Поскольку жилы в дайках образуют густую сеть, объектом отработки является масса даек на всем их протяжении или на отдельных участках. В связи с этим при прогнозной оценке глубоких горизонтов и флангов одна из главных задач заключается в выявлении критериев и косвенных признаков пространственного размещения даек, локализации в них жил, в оценке их состава и степени золотоносности и т.д.

Основные критерии локализации, размеров и формы продуктивных даек просты. Наиболее протяженные по горизонтали и вертикали дайки, характеризующиеся простой, плитообразной формой, приурочены:

- к крупным разломам сколового типа, находящимся над выступом гранитов;
- к породам, обладающим невысокой (различные сланцы) или умеренной (осадочные породы, метаморфизованные базальтоиды) прочностью.

Повышенное количество дайковых жил отмечается:

- в дайках гранит-порфиров II цикла, гранит-порфиров и плагиогранит-порфиров III цикла, на площадях, где широко развит весь комплекс подобных образований;

- при залегании даек в породах умеренной и низкой прочности;

- в местах пересечения дайками зон древних разломов и рассланцевания;

- в дайках, имеющих резко несогласное залегание со слоистостью и сланцеватостью;

- в зонах пересечения и сопряжения даек.

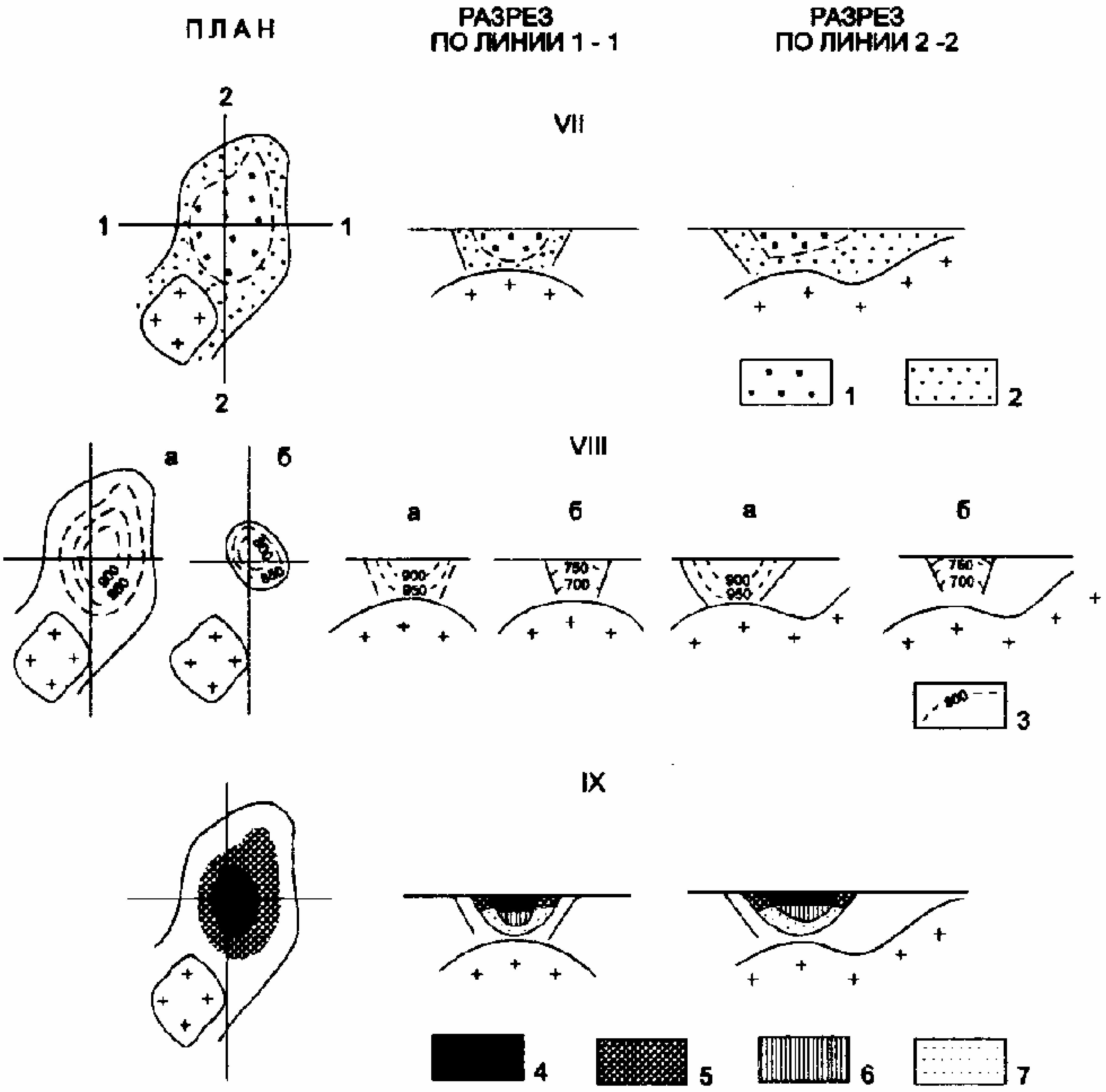


Рис. 44. Схемы зональности околорудных метасоматитов (VII), пробности золота (VIII), размещения золота (IX) (по И.Т. Самарцеву).

1 - березиты с густой вкрапленностью сульфидов; 2 - слабоберезитизированные породы с редкой вкрапленностью пирита; 3 - изолинии значений пробности золота в зонах развития минералов пирит-кварцевой (а) и полиметаллической (б) ассоциаций; 4 - запасы высокозолотоносных руд; 5 - запасы слабозолотоносных руд; 6 - прогнозные ресурсы высокозолотоносных руд; 7 - прогнозные ресурсы слабозолотоносных руд

В дайковых жилах продуктивные ассоциации минералов находятся:

- в пределах участков даек над выступающими частями гранитов, залегающих в интервале глубин от 1,5 до 3,5 км;

- в дайках, залегающих среди пород невысокой прочности или сильно нарушенных в процессе дорудной тектонической деятельности.

Косвенные признаки золотоносности жил приведены в табл. 81.

По данным проведенных исследований, для прогнозной оценки флангов и глубоких горизонтов специально были построены планы, разрезы и проекции, отражающие геологическое строение месторождения. С особой тщательностью оконтуривались породы, в различной степени благоприятные для локализации оруденения, показывался характер изменения их в процессе гидротермальной и тектонической деятельности. На разрезах по комплексу данных реставрировалась срезанная часть месторождения. Далее были выделены все дайки, представляющие промышленный интерес. На вертикальных продольных проекциях отображалась их форма, характер изменения мощности и т.д. В контурах даек по фактическим данным в верхних горизонтах и на уровне прогноза на глубине с учетом особенностей рудоносной обстановки выделялись участки, в различной степени благоприятные для концентрации жил. Затем на всех графических материалах, отражающих строение месторождения (или чертежах, являющихся

накладками), а также на проекциях даек показывалась эндогенная зональность по всем характеризующим ее параметрам, оконтуривалась зона развития золотого оруденения.

Таблица 81

Косвенные признаки золотоносности рудных тел

Параметры	Признаки		
	Степень золотоносности руд		
	Золотоносные	Слабозолотоносные	Незолотоносные
Минеральные ассоциации	Анкерит-кварцевая, пирит-кварцевая, полиметаллическая	Анкерит-кварцевая, пирит-кварцевая	Анкерит-кварцевая (в корневых частях жил - гипс и ангидрит)
Состав блеклых руд	Существенно мышьяковистые	Существенно сурьмяные	
Текстуры руд	Преобладают брекчиевые, друзовые, гнездовые, полосчатые, вкрапленные		Массивные, вкрапленные
Термо-эдс пирита	Преобладает дырочный тип проводимости (60 %)	Преобладает электронный тип проводимости (70 %)	Преобладает электронный тип проводимости (80-90 %)
Элементы примеси	Преобладают	Преобладают	
- в пирите	Ag, Pb, Zn, Cu (2-3 %)	Sb, Co, Ti, Mn, Ni (1,0-1,5 %)	
- в кварце	Ag, Cu, Pb, Bi, Sb	Ni, W, Mn	
Состав газово-жидких включений в кварце, мг/кг			
H_2O	945	1500	1727
CO_2	280	276	226
CO	1,00	1,55	2,00
Пьезомодули кварца в Кл/Н	$(1,0\text{-}2,6)\cdot 10^{-13}$	$(2,6\text{-}3,3)\cdot 10^{-13}$	более $3,3\cdot 10^{-13}$
Температура декрепитации кварца, °С	320-70	320-120	320-180
Околорудные изменения пород	Березиты с достаточно густой вкрапленностью сульфидов и сульфосолей (SiO_2 - 50,0-60,0 %; Al_2O_3 - 25,0-35,0 %; K_2O - 5,0-10,0 %; Na_2O - 0,5-0,6 %)		Слабоберезитизированные породы с редкой вкрапленностью пирита (SiO_2 - 65,0-75,0%; Al_2O_3 - 15,5-16 %; K_2O - 3,5-4,5 %; Na_2O - 0,9-1,5 %)
Первичные ореолы рассеяния	Преобладают Ag, Cu, Pb, Ni, Bi		Преобладают As, Sn, Zn, Co, W, Cr

Анализ таких построений показал, что фланги месторождения, где широко развиты породы, неблагоприятные по механическим свойствам для формирования даек или золотоносных жил в дайках, не будут содержать оруденения в промышленных концентрациях. В центральной и северной частях месторождения вертикальный размах золотоносных даек следует ожидать наибольшим. В направлении к западу, востоку и югу он будет постепенно уменьшаться.

По значениям косвенных признаков продуктивности рудных тел, с учетом результатов, полученных при бурении единичных структурно-поисковых скважин, а

также путем экстраполяции данных верхних горизонтов на глубину в каждой дайке были выделены участки (блоки) различной промышленной ценности (с различными мощностью, количеством жил и содержанием в них золота). В пределах таких блоков были оценены прогнозные ресурсы по категории P_1. Подсчет ресурсов проводился с учетом утвержденных кондиций в пределах всего вертикального интервала развития рудных тел.

Определение среднего содержания осуществлялось по косвенным признакам продуктивности рудных тел, которые значительно отличаются в пределах каждого блока (табл. 82). Сравнение этих признаков с эталонными (см. табл. 81), установленными в пределах верхних разведанных горизонтов, позволило сделать вывод, что золотоносность жил является высокой. Она будет примерно такой же, как в блоках с подсчитанными запасами. Среднее содержание металла следует ожидать более низким. Скорее всего оно будет на грани промышленного. Там, где минералы полиметаллической ассоциации отсутствуют, руды по качеству будут соответствовать забалансовым.

Для уточнения подсчитанных на месторождении ресурсов был пробурен ряд поисковых скважин, которые показали высокую надежность принятой методики количественного прогнозирования. Это позволило поставить вопрос о целесообразности разведки рудных тел на глубоких горизонтах горными выработками эксплуатационного сечения, что обеспечит не только перевод ресурсов в запасы категории C_1 и C_2, но и подготовку рудных тел к отработке.

Советское месторождение

В пределах месторождения терригенные образования образуют моноклиналь юго-западного падения, являющуюся крылом крупной, простой по строению антиклинальной складки, ось которой ориентирована в северо-западном направлении. Среди терригенных пород выделяются три толщи. Нижняя представлена известково-сланцевыми образованиями, центральная — хлорит-серицитовыми сланцами, возникшими по глинистым отложениям, верхняя — кварц-серицит-хлоритовыми сланцами, содержащими углеродистое вещество и сформировавшимися по алевролитам, алевро-песчаникам.

Все породы нарушены крупными протяженными разломами типа взбросо-сдвигов и надвигов, которые падают к юго-западу под углами 45-65 ° и сопровождаются более мелкими аналогичными нарушениями. Наряду с ними широко развиты субширотные нарушения с аналогичным падением к северу. Разноориентированные разломы обусловили блоковое строение месторождения. Породы в центральных частях блоков, обычно в той или иной степени деформированы, смяты в мелкие, напряженные складки, рассланцеваны.

Рудные тела объекта — это сложные по форме залежи кварца, содержащие сульфиды в количестве до 5-6 %. Основная масса рудных тел тяготеет к центральным частям блоков. По мере приближения к разломам мощность их быстро снижается, нередко до полного выклинивания. При этом в целом рудные тела образуют протяженную, вытянутую в северо-западном направлении зону, падающую под углом 85-90°. Поскольку одна часть рудных тел находится в углеродсодержащих породах верхней толщи, другая — в нижерасположенной, возможно условно выделить два яруса оруденения — верхний и нижний (рис. 45).

Таблица 82

Значения косвенных признаков золотоносности руд в различных блоках одной из даек месторождения

Блоки	Мине-ральные ассоциа-ции, количе-ство сульфидов	Состав блек-лых руд	Текстуры руд	Термо-эдс пирита	Элементы - примеси в пирите (общее количест-во,%)
1	Анкерит-кварцевая, пирит-кварцевая, полиме-талличе-ская 15-20 %	Преобладают мышья-кови-стые	Брекчиевые, друзовые, гнездовые	Преобладает дырочный тип проводимости (50-60 %)	Ag, Cu, Pb, Zn (2,0-2,5 %)
2	Анкерит-кварцевая, пирит-кварцевая, полиметаллическая 8-10 %	Преоб-ладают сурьмя-ные	Гнездовые, полосчатые, вкрапленные	Преобладает электронный тип проводимости (50-60 %)	Pb, Zn, Sb, Cu (1,0-1,5 %)
3	Анкерит-кварцевая, пирит-кварцевая	-	Полосчатые, вкрапленные	-	Sb, Pb, Ni, Mn (1,0-1,2 %)
4	Анкерит-кварцевая	-	Полосчатые, вкрапленные Массивные	-	Pb, Ni, Mn

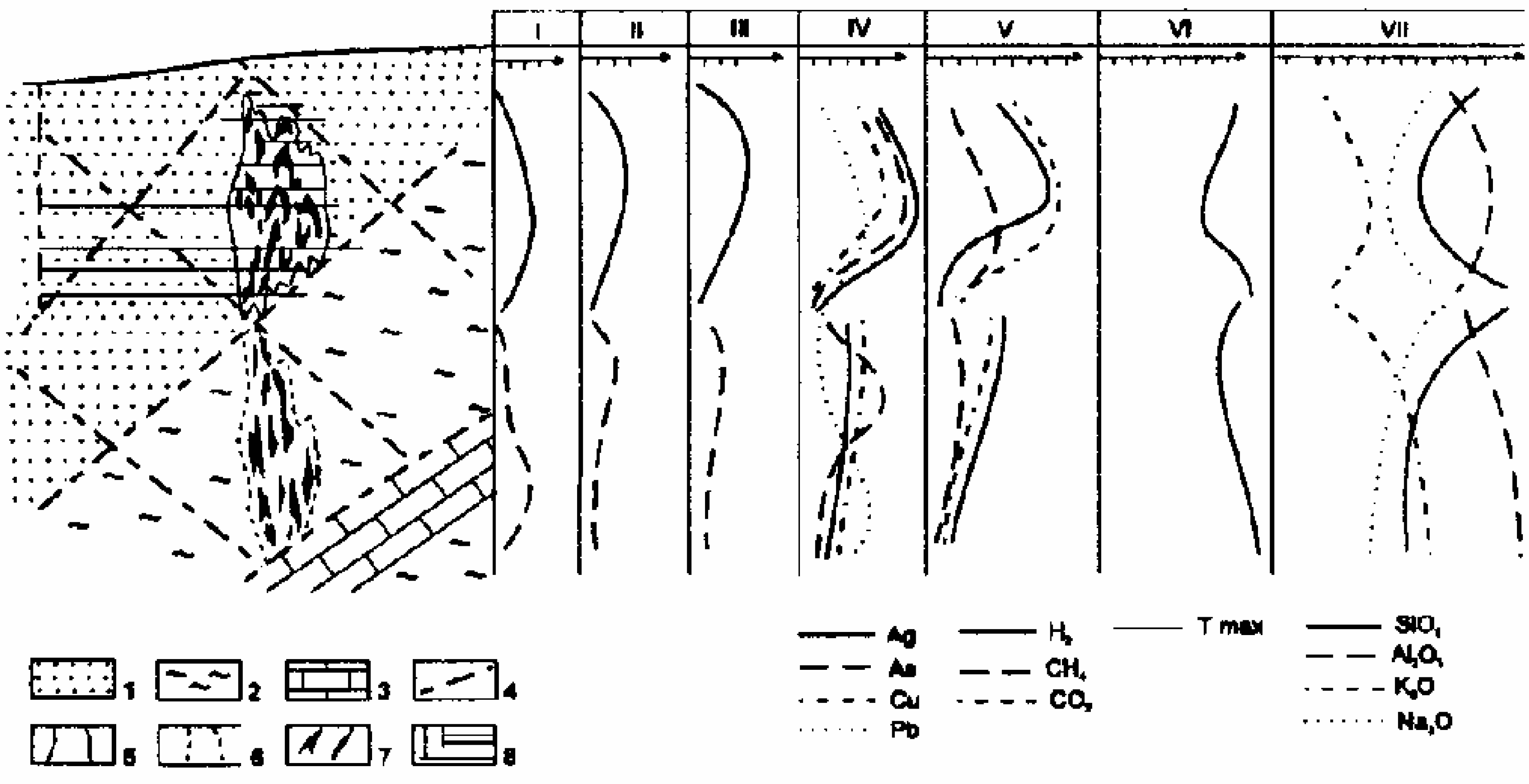


Рис. 45. Схема геологического строения месторождения в поперечном сечении; элементы вертикальной эндогенной зональности (по И.Т. Самарцеву).

1 - кварц-серицит-хлоритовые сланцы с углеродистым веществом; 2 - хлорит-серицитовые сланцы; 3 - известково-сланцевые породы; 4 - разломы; 5 - контуры рудной зоны с подсчитанными запасами; 6 - контуры рудной зоны с подсчитанными прогнозными ресурсами; 7 - рудные тела; 8 - горные выработки

Изменение с глубиной: I - суммарной мощности рудных тел, II - содержаний золота, III - интенсивности проявления минералов продуктивных ассоциаций; IV - содержаний элементов-примесей в кварце, V - состав газово-жидких включений в кварце, VI - температуры максимального газовыделения, VII - химического состава околорудных метасоматитов.

Таблица 82 (продолжение)

Состав газово-жидких включений в кварце, мг/кг	Пьезо-модули кварца Кл/Н	Температуры декрепитации и кварца, °С	Околорудные измене-ния пород	Первичные ореолы рассеяния
CO_2 - 286 CO - 1,5 H_2O - 870	$(1,5\text{-}3,0)\cdot10^{-13}$	360-90	Березиты с густой вкрапленностью сульфидов SiO_2 - 45,0-52,0 % Al_2O_3 - 27,0 % K_2O - 5,0-7,0 % Na_2O - 0,4-0,6 %	Преобладают Ag, Bi, Pb, Cu, Ni
CO_2 - 280 CO - 1,2 H_2O - 1250	$(3,0\text{-}3,0)\cdot10^{-13}$	360-180	Березиты с небольшим количеством сульфидов SiO_2 - 55,6 % Al_2O_3 - 20,0 % K_2O - 4,3 % Na_2O -0,8 %	Преобладают Ag, Ni, As, Zn
CO_2 - 220 CO - 1,5 H_2O - 1450				
CO_2 - 205 CO - 2,6 H_2O - 1680	$(3,5\text{-}4,8)\cdot10^{-13}$	360-250	Слабоберезитизированные породы SiO_2 - 72,0-74,5 % Al_2O_3 - 15,7 % K_2O - 3,8 % Na_2O -1,0 %	Преобладают As, Co, Zn, Cr, W

К началу работ по прогнозной оценке месторождения рудные тела в пределах верхнего яруса были полностью или в значительной степени отработаны. Глубокие горизонты вскрыты по редкой сети поисковыми скважинами, которые не обеспечили решение задачи выявления там количества и качества золотых руд. Эту задачу, завершающуюся подсчетом прогнозных ресурсов, предстояло решить, используя разработанные методические приемы количественного прогнозирования. На первом этапе исследований в пределах верхнего яруса были детально изучены все параметры залежей, в том числе их состав и степень золотоносности, проведен детальный анализ эндогенной зональности, характер рудоносной обстановки. На основании этого были выявлены критерии и косвенные признаки локализации золотого оруденения, качества руд. В результате проведенных работ установлено, что в пределах верхних горизонтов четко выявлен структурный контроль оруденения. Рудные тела залегают в центральных частях ограниченных разломами блоков пород; в местах совместного развития полостей отслоения; в замковых частях и крыльях вторичных складок; в трещинах, сопровождающих основные нарушения; в срывах по слоистости и сланцеватости. Сочетание перечисленных структурных элементов, являющихся рудовмещающими, обусловило сложность и многообразие морфологических форм рудных тел. Последние представляют собой крупные, с резко меняющейся мощностью залежи с пламеневидным выклиниванием, линзообразные тела, седловидные, четковидные, значительно реже простые линейные жилы и т.д. Вокруг перечисленных тел часто наблюдается оруденение, напоминающее штокверковое и прожилково-вкрапленное. В проекции на вертикальную плоскость легко заметить, что зона развития рудных тел полого погружается в юго-восточном направлении. При этом мощность ее постепенно возрастает. Наибольшее количество залежей наблюдается в центральной части зоны. В рудных телах достаточно четко выделяется несколько минеральных ассоциаций. Главными из них являются анкерит-кварцевая (незолотоносная), пирит-пирротин-арсенопиритовая

(слабозолотоносная), полиметаллическая (высоко- или умеренно золотоносная), в состав которой входят пирит II, пирротин II, арсенопирит II, халькопирит, галенит, сфалерит, марказит и редко встречающийся фрейбергит, маухерит, висмутин, и карбонатная (незолотоносная). Золото в рудах присутствует как в виде включений размером до нескольких миллиметров, так и тонкодисперсной примеси. Наибольшая концентрация его отмечается в местах совместного развития минералов продуктивных ассоциаций (рис. 46).

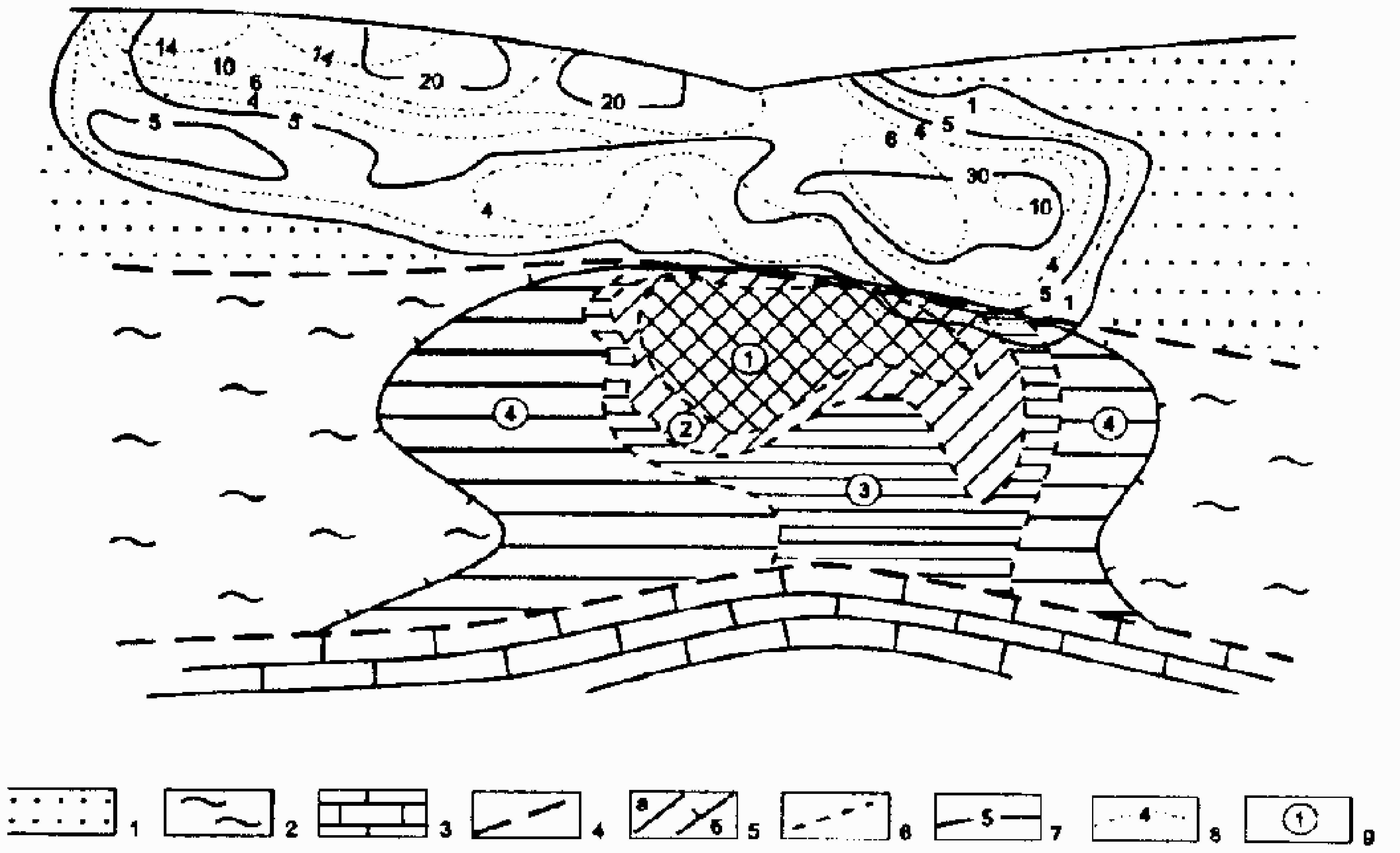


Рис. 46. Схема изменения в пределах верхнего яруса оруденения мощности рудных тел и содержаний в них золота, в пределах нижнего яруса - прогнозных ресурсов (в проекции на вертикальную плоскость) (по И.Т. Самарцеву).

1 - кварц-серицит-хлоритовые сланцы с углеродистым веществом; 2 - хлорит-серицитовые сланцы; 3 - известково-сланцевые породы; 4 - разломы; 5 - контуры рудных зон: а - верхнего, б - нижнего ярусов; 6 - зоны (цифры в кружках) развития рудных тел с подсчитанными прогнозными ресурсами: 1′ - золотоносные (минеральные ассоциации - полиметаллическая, пирит-пирротин-арсенопиритовая), 2′ - умеренно золотоносные (минеральные ассоциации - полиметаллическая, пирит-пирротин-арсенопиритовая), 3′ - слабозолотоносные (минеральная ассоциация - пирит-пирротин-арсенопиритовая), 4′ - незолотоносные (минеральная ассоциация - анкерит-кварцевая); 7 - изолинии мощности рудных тел (усл. ед.); 8 - изолинии содержания золота (усл. ед.); 9 - номера блоков

В рудных телах верхнего яруса хорошо проявлена эндогенная зональность, в том числе минеральная, температурная, околорудных метасоматитов, эндогенных ореолов рассеяния, размещения золота. Для минеральной зональности характерно, что продуктивные ассоциации наиболее широко развиты в центральных частях зон развития рудных тел при некотором их смещении в сторону фронтальных частей. В юго-восточном направлении количество их постоянно возрастает при увеличении размеров площадей, в пределах которых они распространены. В указанном направлении отмечается также склонение рудных тел и оруденения под углом, равным примерно 10-15°. Особенно контрастно вертикальная зональность выражена в юго-восточной части месторождения, где рудные тела в пределах верхнего яруса характеризуются наибольшим размахом. На этом участке в центральной части объекта общее количество сульфидов в рудных телах равно 4,0-5,0%. Среди них достаточно много минералов полиметаллической ассоциации. В сторону фланговых частей, а также фронтальных и корневых вначале исчезают халькопирит, галенит, сфалерит, мелкозернистый пирит, входящие в состав наиболее продуктивного парагенезиса, а затем ранние арсенопирит, крупнозернистый пирит и пирротин. Упрощение минерального состава руд сопровождается сменой господствующих брекчиевых текстур массивными и вкрапленными.

Минеральная зональность подчеркивается особенностями изменения содержаний в рудном кварце элементов-примесей. В центральных частях зон в этом минерале в повышенном количестве присутствуют серебро, мышьяк, медь, свинец, в корневых — сурьма, хром, титан, барий. В кварце из зон развития продуктивных минеральных ассоциаций отмечаются также многочисленные газово-жидкие включения, содержа-

щие H_2O, H_2, CH_4, CO_2. В сторону краевых частей рудных тел количество включений уменьшается. В пространственном размещении газов отмечается зональность, которая в значительной степени повторяет зональность изменения в кварце содержаний серебра и мышьяка (рис. 47).

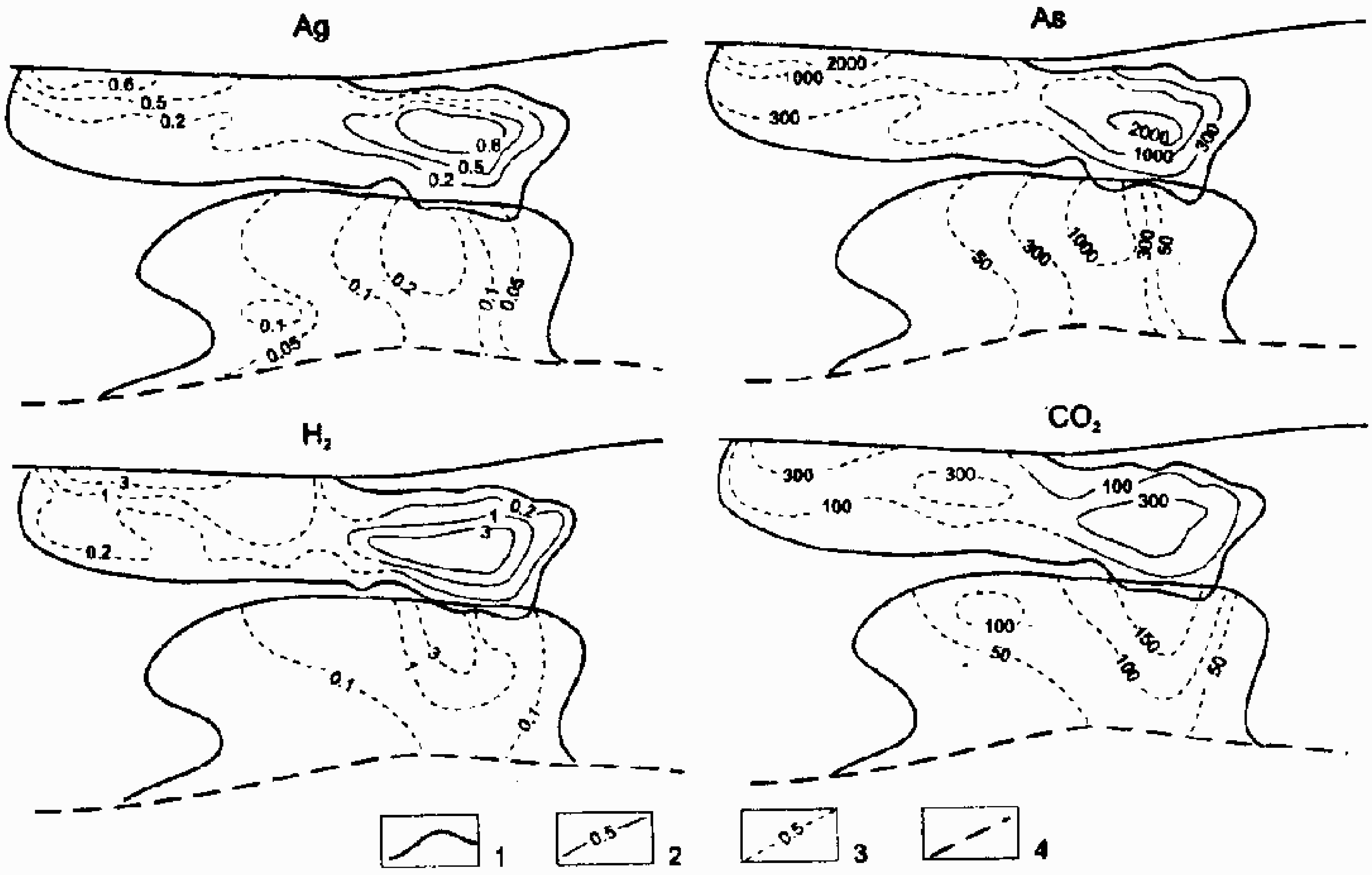


Рис. 47. Схема изменения на месторождении содержаний в кварце Ag, As, г/т и H_2, CO_2, мг/кг (в проекции на вертикальную плоскость) (по И.Т. Самарцеву).

1 - контур рудных зон; 2-3 - изолинии значений параметров зональности: 2 - по фактическим данным, 3 - прогнозные; 4 - разломы

В верхних горизонтах рассматриваемого месторождения установлено также изменение с глубиной электрических свойств пиритов и изотопного состава входящей в их состав серы. Рудным телам в верхних и центральных частях зон свойственны как дырочная, так и электронная проводимость, при значительном преобладании первой (до 80-90%). В корневых частях электронный тип проводимости является основным. В целом в рудных телах верхнего яруса дырочная проводимость по частоте встречаемости составляет около 60%. Что касается изотопного состава серы, то значения $\delta^{34}S$ закономерно возрастают при переходе от ранних минеральных ассоциаций к поздним и с глубиной (от +10,0 до 19,0‰). В пиритах из золотоносных участков $\delta^{34}S$ равна +14,0–16‰.

С целью изучения температурной зональности на термовакуумной установке ВД-3 был проведен декрепитационный анализ кварца из различных участков рудных тел и месторождения. В процессе анализа, основанного на непрерывной откачке газа, выделяющегося из нагреваемого кварца, записывались декрептограммы, отражающие температуру начала растрескивания кварца $T_н$, температуру максимума эффектов взрывов T_{max}, общую интенсивность газовыделения I_o, интенсивность максимумов I_{max}. С учетом этих параметров полученные при анализе кварца декрептограммы были объединены в семь типов (рис. 48). Из них первые пять наиболее характерны для зон развития продуктивных ассоциаций минералов. Им свойственны более низкие значения $T_н$ и T_{max}, высокая I_o. Остальные типы кривых обычны для слабо- или незолотоносных краевых частей рудных тел.

Зональность околорудных метасоматитов проявлена в том, что на участках развития рудных тел, содержащих достаточно большое количество минералов продуктивных ассоциаций, породы интенсивно серицитизированы, хлоритизированы, содержат вкрапленность сульфидов. При переходе к рудным телам, сложенным слабопродуктивными и непродуктивными минеральными парагенезисами, что обычно имеет место в сторону флангов и с глубиной, степень изменения пород ослабевает. В соответствии с петрографическим составом метасоматитов находится и их химический состав. В связи с этим центральные части зон развития рудных тел в пределах верхнего яруса обогащены K_2O, Al_2O_3 и обеднены SiO_2, Na_2O

Рис. 48. Типы декрептограмм в зонах развития продуктивных и непродуктивных ассоциаций минералов (по И.Т. Самарцеву).

При изучении геохимических ореолов в пределах зон развития рудных тел верхнего яруса было установлено, что в неизмененных или слабо измененных вмещающих породах содержание таких элементов, как Au, Bi, As, Sb, V, превышают кларковое. Свинец, кобальт, цинк, марганец, бор, барий присутствуют на уровне кларка, а медь, никель, молибден, хром, титан — на более высоком уровне (рис. 49). В контурах зон содержание элементов изменяется сравнительно в широком диапазоне. При этом в непосредственной близости от залежей, в местах наиболее интенсивной гидротермальной переработки пород (обогащенных K_2O и Al_2O_3) отмечается концентрация серебра, меди, свинца и некоторых других элементов при содержаниях, значительно превышающих фоновые. На некотором удалении от рудных тел имеется зона выщелачивания названных элементов, где содержание их ниже фона. В то же время в пределах таких участков скапливаются никель, олово, цинк, хром, количество которых снижается по мере приближения к рудным телам. Около золотоносных рудных тел зоны обогащения и выщелачивания проявлены четко. В отличие от них вблизи залежей, сложенных минералами ранних ассоциаций, особенно на глубоких горизонтах, отмечается лишь зона выщелачивания. Размещение многих элементов в пределах ореолов рассеяния является зональным. Это хорошо видно как в поперечных сечениях зоны развития рудных тел, так и в проекции на вертикальную плоскость (рис. 50). В полном соответствии с минеральной зональностью, которая подчеркивается характером изменения в пространстве температур декрепитации, (рис. 51) околорудных пород, эндогенных ореолов рассеяния, находится зональность размещения золота, форм его выделения. При этом наибольшей продуктивностью харатеризуются центральные части зон развития рудных тел, где золото является наиболее крупным.

Изучение эндогенной зональности позволило сделать следующий вывод: зона развития золотого оруденения может быть выделена по целому ряду косвенных признаков, выявляемых в процессе изучения состава и строения рудных тел, а также прилегающих к ним измененных пород.

При детализации эндогенной зональности, изучении ее не только на месторождении в целом, но и на отдельных участках было установлено, что значения косвенных признаков далеко не одинаковы в рудных телах с различной степенью золотоносности. Это дает возможность не только оконтурить зону развития золотого оруденения в пространстве, но и диффсренцировать ее по наиболее вероятному качеству руд. В

обобщенном виде косвенные признаки золотоносности показаны в табл. 83, 84, 85. Они были взяты за основу при оценке рудных тел нижнего яруса.

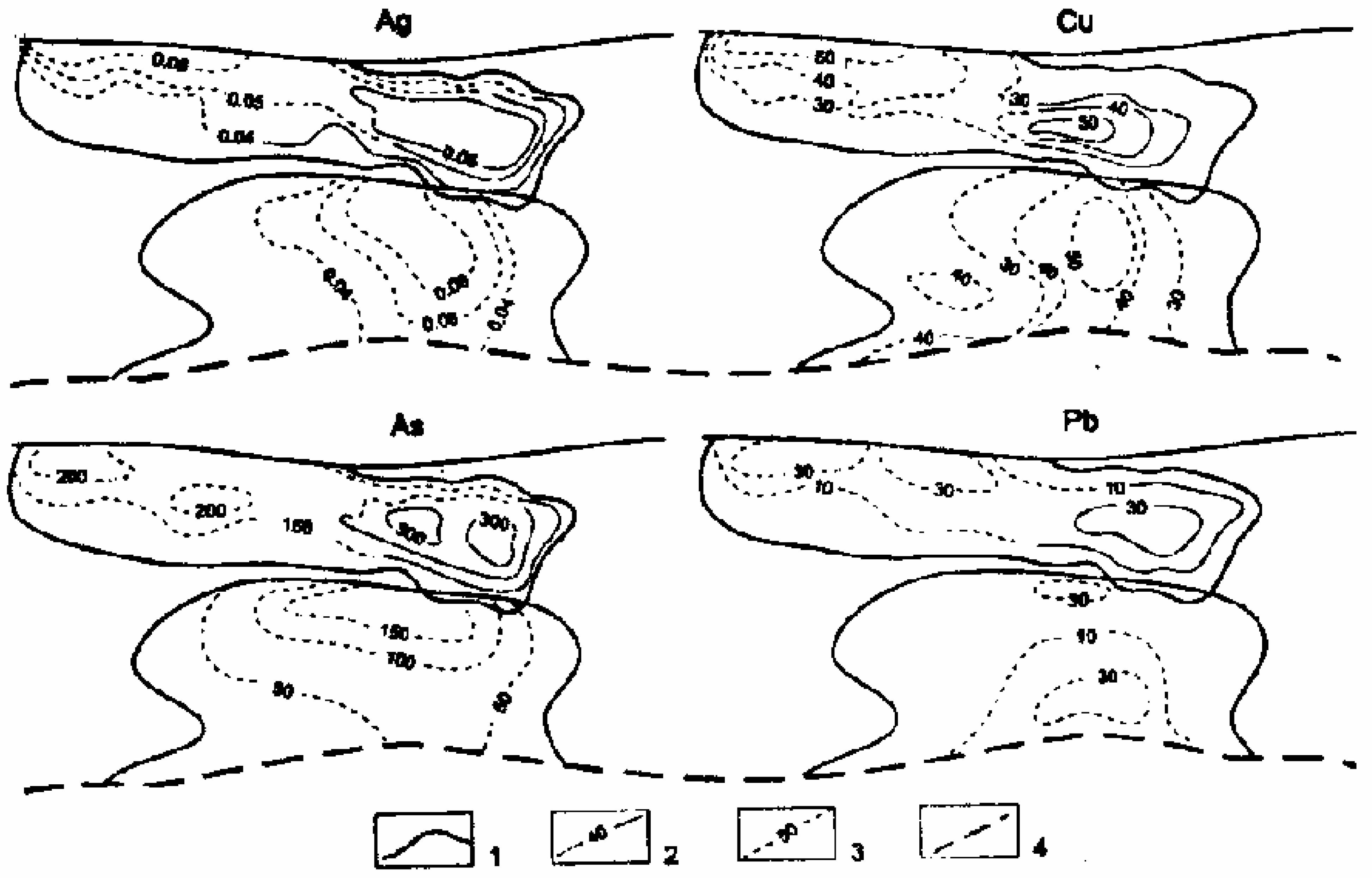


Рис. 49. Схема изменения на месторождении содержаний (г/т) элементов примесей в околорудных метасоматитах (в проекции на вертикальную плоскость) (по И.Т. Самарцеву).

1 - контур рудных зон; 2-3 - изолинии значений параметров зональности: 2 - по фактическим данным, 3 - прогнозные; 4 - разломы

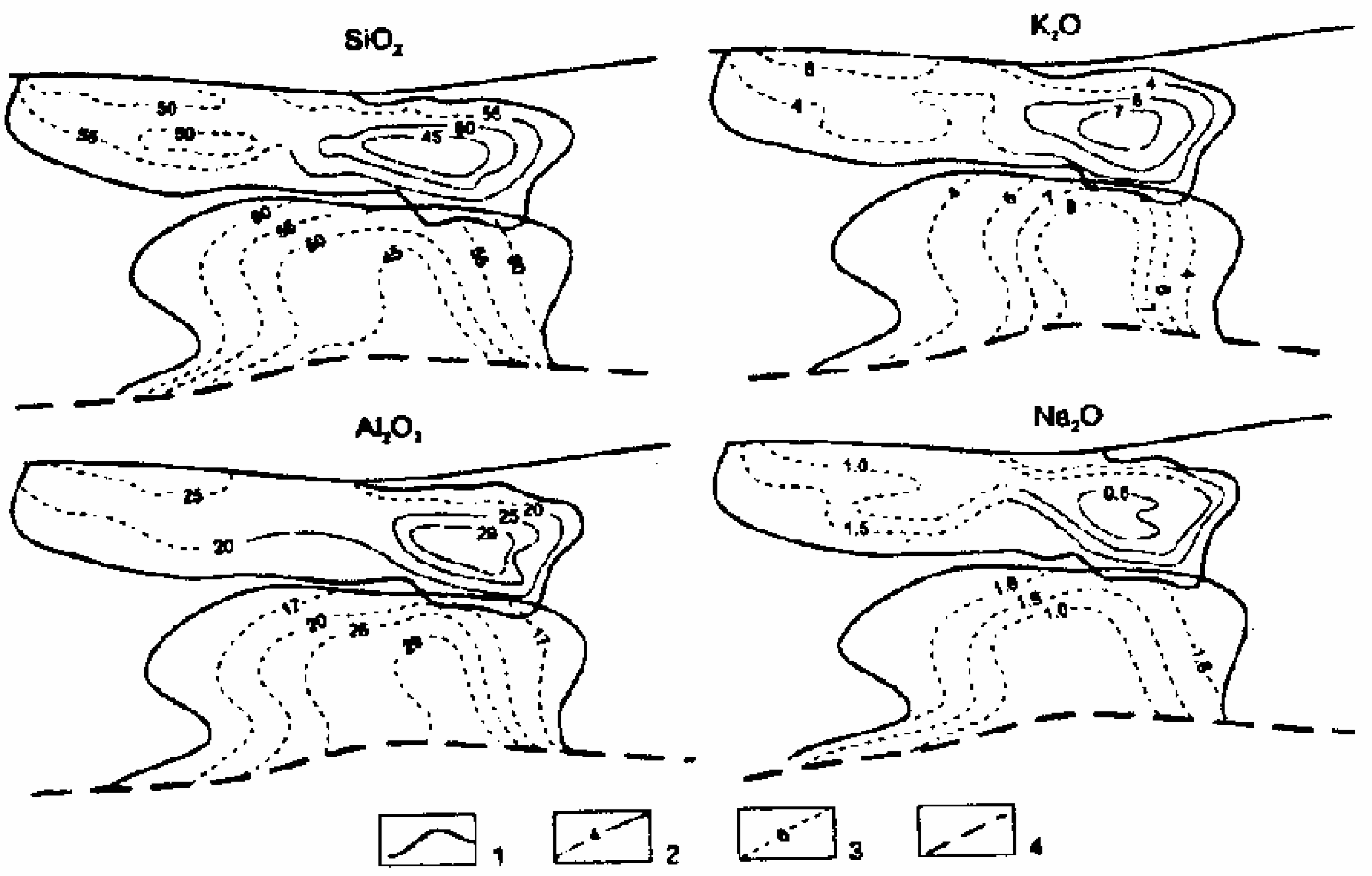


Рис. 50. Схема изменения на месторождении химического состава (%) околорудных метасоматитов (в проекции на вертикальную плоскость) (по И.Т. Самарцеву).

1 - контур рудных зон; 2-3 - изолинии значений параметров зональности: 2 - по фактическим данным, 3 - прогнозные; 4 - разломы

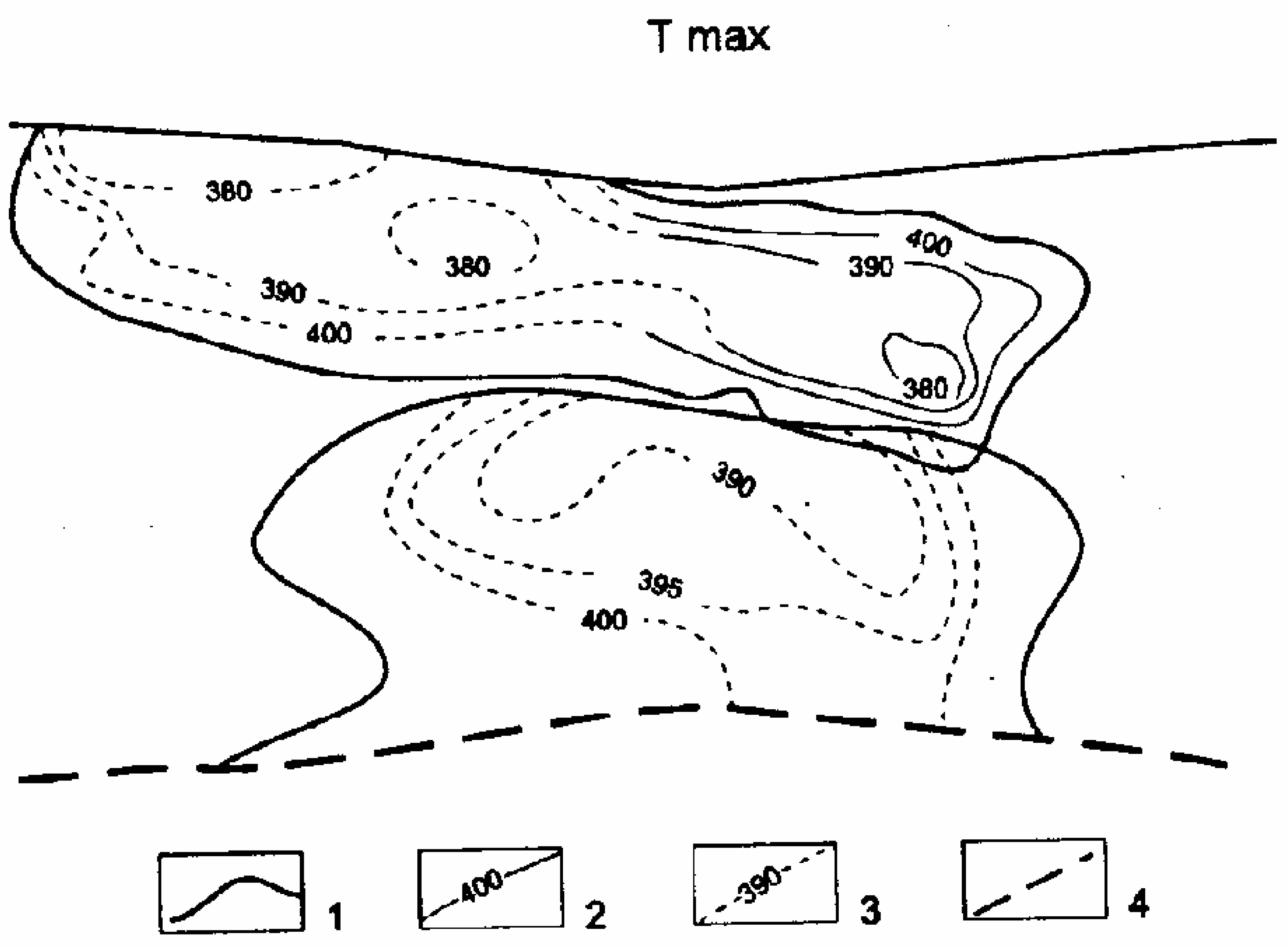


Рис. 51. Схема температурной зональности месторождения (в проекции на вертикальную плоскость) (по И.Т. Самарцеву).

1 - контур рудных зон; 2-3 - изолинии значений температуры максимального газовыделения (T_{max}): 2 - по фактическим данным, 3 - прогнозные; 4 - разломы

Таблица 83

Метасоматические признаки продуктивности рудных тел

Золотоносность рудных тел	Петрографический состав околорудных метасоматитов и пород	Химический состав околорудных метасоматитов и пород, %				
		SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO
Высоко- и среднезолотоносные	Серицитовые и турмалин-серицитовые сланцы с керитом и антраксолитами	47,70	1,25	27,30	3,30	4,0
Слабозолотоносные	Хлорит-серицитовые сланцы с небольшим количеством флогопита и антраксолита II	50,60	1,15	24,40	3,70	5,0
Незолотоносные	Кварц-серицит-хлоритовые сланцы, содержащие антраксолит III, флогопит	56,80	1,0	21,0	2,0	6,60
Неизмененные породы	Алевролиты, пелиты, алевропесчаники	58,30		20,40	1,90	6,50

Таблица 84

Минералогические признаки продуктивности рудных тел

Золотоносность рудных тел	Минеральный состав рудных тел	
Высоко- и среднезолотоносные	Пирит - до 4,0 %; арсенопирит - до 3,0 %; пирротин - до 1,5-2,0 %; сфалерит - до 1,) %; халькопирит - 0,5 %; галенит - 0,2 %, золото видимое	> 5,0 %
Слабозолотоносные	Пирит - до 1,5-2,0 %; арсенопирит - до 2,0 %; пирротин - до 2,0-3,0 %; сфалерит - 0,5 %; халькопирит - 0,2 %; галенит - 0,1 %	3,0-4,0 %
Незолотоносные	Пирит - менее 0,5 %; арсенопирит - менее 0,2 %; пирротин - до 2,0-3,0 %	< 0,5 %

При прогнозировании оруденения на глубоких горизонтах, в первую очередь была уточнена рудоносная обстановка — изучен состав вмещающих пород, степень их метаморфизма, проведена геометризация разломов. Затем детально анализировались размещение рудных тел, изменение в пространстве всех их параметров, в том числе являющихся косвенными признаками оруденения. Исследования показали, что как и предполагалось ранее, породы в зоне развития рудных тел нижнего яруса углеродистого вещества не содержат или содержат в небольшом количестве на отдельных участках. Серией поперечных и продольных разломов, как и в верхних горизонтах, они разбиты на блоки, к центральным частям которых приурочены залежи.

Околорудные метасоматиты на глубоких горизонтах содержат тот же набор ореольных элементов, который был установлен вблизи рудных тел верхнего яруса. Размещение большинства из них является зональным, что особенно характерно для серебра, мышьяка, меди, свинца (рис. 40). Первые три из названных элементов концентрируются преимущественно в центральной части верхней половины зоны. Количество свинца возрастает с глубиной. При этом в пределах нижнего яруса эндогенные ореолы рассеяния проявлены менее контрастно по сравнению с верхним, содержание перечисленных элементов в них ниже, зона выщелачивания не установлена.

Таблица 83 (продолжение)

Химический состав околорудных метасоматитов и пород, %								
MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Ba	CO_2	$C_{орг}$	$S_{общ}$	SO_3
2,80	0,12	0,70	5,0	0,065	0,50	0,08	0,8	0,05
2,60	0,15	1,0	4,0		0,43	0,10	0,6	0,04
2,40		1,30	3,5	0,04	0,18	0,12	0,5	0,02
2,30	0,33	1,50	3,0		0,25	0,10	0,4	

Таблица 84 (продолжение)

Декрепитация кварца			Термо-эдс пирита
Количество двупиковых кривых, %	Температура газовыделения,°С	Преобладающий тип кривых	Количество пирита с дырочным типом проводимости, %
50-70	350-395	1, 2, 3, 4, 5	90-100
< 25	395-405	6, 7	60-90
			-

Как показал анализ размещения на глубоких горизонтах рудных тел — кварцевых залежей, основное их количество наблюдается в местах, где метасоматиты характеризуются минимальным количеством SiO_2. В целом зона развития рудных тел находится в контурах измененных пород, в которых содержание K_2O превышает 3,5 %. Этот контур может считаться границами распространения оруденения.

Для получения более точных данных о локализации оруденения на глубоких горизонтах по образцам, отобранным из керна поисковых скважин, был изучен минеральный состав руд. Отмечено, что в рудных телах нижнего яруса продуктивные ассоциации минералов распространены значительно меньше, чем на более высоких уровнях. Практически повсеместно из всех сульфидов в них преобладает пирит и пирротин, Галенит, сфалерит, халькопирит и арсенопирит встречаются в небольших количествах, на ограниченных по размерам участках. Общий контур минералов продуктивной ассоциации в проекции на вертикальную плоскость показан на рис. 41. В пределах этого контура кварц характеризуется повышенными содержаниями серебра, мышьяка, а также присутствующих во включениях H_2 и CO_2. Как уже отмечалось, в зонах развития рудных тел верхнего яруса зональность хорошо выражена в характере изменения с глубиной электрических свойств пирита и изотопного состава входящей в его состав серы. При анализе глубоких горизонтов решить этот вопрос с необходимой полнотой не удалось. Было лишь установлено, что на глубоких горизонтах преобладают пириты с электронным типом проводимости, общее количество которых приблизительно равно 67 %.

Изотопный состав серы был изучен в пиритах, отобранных из керна скважин, вскрывших рудные тела примерно в центральной части нижнего яруса. Исследования

показали, что по рассматриваемым параметрам пириты относятся к корневым частям залежей, в результате чего золотое оруденение будет располагаться на более высоких уровнях.

Таблица 85

Геохимические признаки продуктивности рудных тел

Золотоносность рудных тел	Элементы-примеси в метасоматитах, г/т							
	Au	Ag	As	Cu	Pb	B	Ni	Zn
Высоко- и среднезолотоносные	1,0	0,08	300	19	30	0,04	13	60
Слабозолотоносные	0,4	0,03	170	16	22	0,2	17	200
Незолотоносные	-	0,01	-	14	15		10	400

Таблица 85 (продолжение 2)

Золотоносность рудных тел	Элементы примеси в кварце, г/т							
	Bi	Sb	Zn	Co	Cr	Ti	Ba	B.
	3,0	15	140	25	50	800	60	65
Высоко- и среднезолотоносные	1,7	25	100	20	70	1000	100	40
Слабозолотоносные	1,0	35	70	15	100	1250	140	20
Незолотоносные								

При анализе температур декрепитации установлено, что их значения изменяются в пространстве зонально. При этом общее строение температурной зональности соответствует зональности минеральной. С зоной наиболее низких температур совпадают зоны развития минералов полиметаллической и пирит-пирротин-арсенопиритовой ассоциации.

Сопоставляя средние T_{max} в кварце рудных тел верхнего и нижнего ярусов, было выявлено, что в первом случае они несколько ниже (380°), чем во втором (390°). При этом уменьшается (с 55 до 26 %) количество декрептограмм, свойственных кварцу из зон развития продуктивных минеральных ассоциаций (рис. 51).

Если сравнивать косвенные признаки оруденения нижнего яруса с верхним, где рудные тела характеризуются высокой золотоносностью, то становится очевидным, что многие из них по своему значению находятся на более низком уровне (табл. 86).

В результате геометризации всех параметров эндогенной зональности с учетом косвенных признаков продуктивности рудных тел на графических материалах, отражающих строение месторождения, были выделены зоны с различной степенью золотоносности. Из них основной для оценки ресурсов глубоких горизонтов являлась вертикальная продольная проекция, на которую выносились данные, необходимые для выявления общего количества руды и металла на глубоких горизонтах. Выбор параметров для подсчета ресурсов осуществлялся двумя способами: по значениям критериев и косвенных признаков оруденения и путем сравнения состава и строения рудных тел в верхнем и нижнем ярусах. При этом в обоих случаях учитывался характер изменения с глубиной рудоносной обстановки.

Таблица 85 (продолжение 1)

Элементы-примеси в метасоматитах, г/т							
Cr	Ti	Nb	Se	Y	Ag	As	Cu
40	2400	6	6	10	0,8	3500	100
	3400	10	9	5	0,3	1000	80
80		12	13	3	0,2	500	60

Таблица 85 (продолжение 3)

Состав газово-жидких включений, мг/кг				Изотопный состав серы пиритов	Фоновая золотоносность, г/т
H_2	CH_4	CO	CO_2	δS^{34}, ‰	
1,8 1,4 0,6	3,5 2,1 1,7	5,0 3,7 2,8	300 240 139	+140 - +160 <+140 или <+160	≥0,7 - 1,0 <0,5

Таблица 86

Значения некоторых косвенных признаков оруденения в рудных телах верхнего и нижнего яруса

Признаки	Значения признаков	
	Верхний ярус	Нижний ярус
Содержание сульфидов, в процентах к массе руды:		
- пирита	4,64	2,00
- пирротина	0,82	6,95
- арсенопирита	2,54	0,25
- халькопирита	0,38	0,32
- сфалерита	0,30	0,02
- галенита	0,18	0,06
Содержание элементов-примесей в кварце, г/т		
Ag	0,49	0,16
As	2750,0	450,0
Cu	80,0	62,0
Pb	65,0	34,0
Zn	120,0	54,0
Состав газово-жидких включений в кварце, мг/кг		
H_2	1,58	1,14
CH_4	2,60	1,15
CO	4,40	0,20
CO_2	259,65	68,0
H_2O	930,50	1090,0
Преобладающие типы декрептограмм	1, 2, 3, 4, 5	6, 7

В итоге по данным прогнозирования были сделаны следующие выводы. Основное количество руды, которая по качеству может отвечать требованиям промышленности, будет находиться в пределах зоны, выделенной на вертикальной проекции под номером 1′ (рис. 52, цифры в кружке). Частота встречаемости и золотоносность рудных тел будут здесь достаточно высокими, в то же время, по данным косвенных признаков, они будут ниже, чем в верхних горизонтах. В большей степени проявится неравномерность в распределении содержаний золота. В зоне 2′ следует ожидать значительную прерывистость в распределении оруденения. Рудные тела будут характеризоваться более низкими содержаниями золота и пользоваться развитием на отдельных изолированных, часто небольших по размерам участках, в результате чего промышленная ценность зоны, в сравнении с предыдущей, будет меньше. Золотоносность зоны 3′, по данным косвенных признаков, предполагается весьма невысокой. Рудные тела с повышенной концентрацией металла будут встречаться как одиночные образования. При всем этом, в пределах зоны, особенно в нижней ее части будет отмечаться возрастание общей золотоносности в юго-восточном направлении. В зоне 4′ содержание золота в рудных телах в подавляющем большинстве случаев ожидается весьма низким.

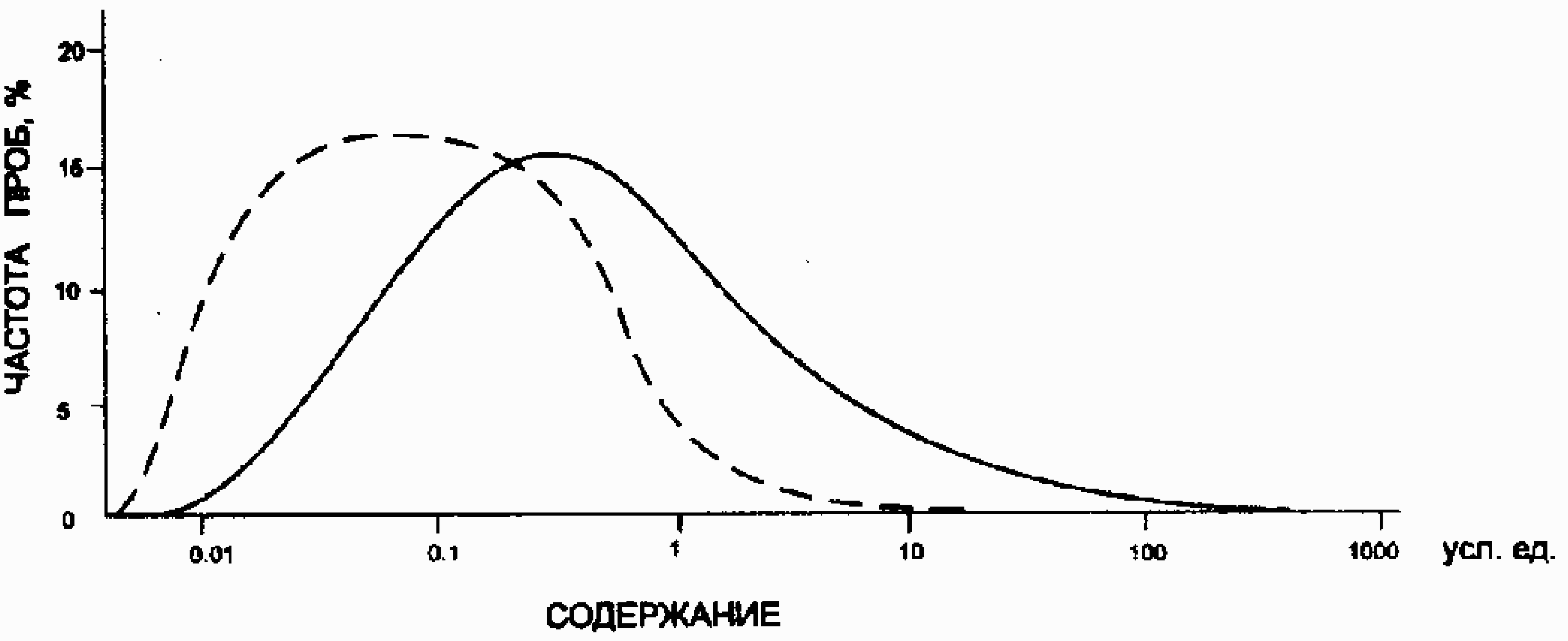


Рис. 52. Частота встречаемости проб с различным содержанием золота в керне скважин, вскрывших рудные тела в пределах верхнего (сплошная линия) и нижнего (пунктирная линия) ярусов (по И.Т. Самарцеву).

В целом качество руд на глубоких горизонтах ожидается несколько иным, чем в пределах верхнего яруса. Уменьшится общее количество сульфидов, среди которых наибольшим распространением будут пользоваться пирротин и пирит. Золото будет более мелким. Частота встречаемости проб с высокими содержаниями окажется более низкой, что установлено по данным опробования керна скважин.

Выполненная прогнозная оценка глубоких горизонтов обеспечит обоснованное проведение дальнейшей разведки месторождения, так как зоны развития золотого оруденения оконтурены в пространстве с достаточной точностью. Это даст возможность сконцентрировать работы в пределах конкретных участков, что обеспечит не только значительную экономию капиталовложений, но и оперативную промышленную оценку глубоких горизонтов, на основании чего будут сделаны выводы о целесообразности отработки месторождения на различных уровнях.

Васильковское месторождение

Прогнозная оценка месторождения была начата, когда рудные тела в верхних горизонтах были разведаны горными выработками, отстоящими друг от друга по вертикали на расстояние, равное 60 м, и скважинами, пройденными по сети 30 × 60 м. В пределах разведанного интервала были подсчитаны запасы категории $B+C_1+C_2$. Перспективы более глубоких горизонтов, а таким образом и общие масштабы объекта оставались не установленными, несмотря на то, что на некоторых участках рудные тела были разбурены рядом одиночных глубоких скважин.

Месторождение расположено в приконтактовой зоне гранодиоритов и сложно перемежающихся между собой диоритов и габбро. Рудные тела приурочены к узлу пересечения разноориентированных нарушений в центральной части блока пород,

ограниченного с трех сторон крупными глубинного заложения разломами, формирование которых происходило в течение длительного времени. По морфологии рудные тела месторождения представляют собой крупный штокверк (прожилковые, прожилково-вкрапленные и вкрапленные руды). На флангах месторождения известны рудопроявления, также относящиеся к штокверковому типу. На глубоких горизонтах залегает штокообразное тело кварцевых диоритов, являющихся по времени формирования более молодыми образованиями, чем окружающие их породы. Как показала проведенная геометризация, рудные тела на глубине находятся в непосредственной близости от штока и скорее всего имеют с ним не только пространственную, но и более близкую парагенетическую связь. С подобными штоками ассоциируют и рудные тела рудопроявлений, но глубина залегания кварцевых диоритов там значительно меньше, чем в центральной части объекта.

Учитывая общий характер рудовмещающей среды, на месторождении первоначально была изучена морфоструктурная зональность. По данным этих исследований было установлено, что основной штокверк в плане имеет неправильную, но близкую к изометричной форму. С глубиной размеры его вначале несколько возрастают, а затем уменьшаются. На глубоких горизонтах вокруг основного тела появляется ряд более мелких, не выходящих на поверхность.

Центральная часть штокверка вблизи поверхности представлена главным образом прожилково-вкрапленными рудами, краевая — вкрапленными. В вертикальных сечениях картина несколько иная. Прожилково-вкрапленные руды с глубиной сменяются прожилковыми, нередко имеющими вид ориентированных в разных направлениях сближенных жил (с резко подчиненным вкрапленным оруденением), затем они вновь становятся прожилково-вкрапленными, постепенно переходящими в преобладающий вкрапленный тип.

Состав руд и прилегающих к ним измененных пород в пределах месторождения в настоящее время изучен достаточно хорошо. Формирование рудных тел происходило в несколько стадий, каждая из которых характеризуется отложением минералов определенных ассоциаций. В обобщенном виде среди последних, образовавшихся собственно в рудную стадию и имеющих наибольшее распространение, может быть выделено три: пирит-арсенопирит-кварцевая, висмут-арсенопирит-кварцевая, полиметаллическая (блеклая руда, халькопирит, сфалерит, галенит, антимонит). В дорудную стадию происходило отложение кварца, турмалина, пирита, а в послерудную — кварца, кальцита, флюорита. В размещении минералов проявлена зональность. Характерной ее особенностью, как и на многих других месторождениях, является то, что ранние парагенезисы развиваются в пределах значительных по размерам зон, а более поздние — в их контурах на меньших участках. Это определяет горизонтальную и вертикальную зональность. Вокруг штокверков, а также в их пределах широко развиты такие минералы, как эпидот, турмалин, флюорит, образующие ореольные зоны. Эпидотизация на месторождении особенно проявлена на флангах. Ореолы турмалина распространены в пределах верхних и центральных частей рудных тел. В сторону флангов и с глубиной степень турмалинизации снижается. К зонам наибольшего развития этого минерала приурочены рудные тела с высокой золотоносностью. То же можно сказать и о флюорите, появление которого в повышенных концентрациях свидетельствует о близости рудных столбов. Околорудные метасоматиты формировались в основном в период, предшествующий рудообразованию. По данным В.Б. Чекваидзе, морфология их определяется развитием серии крутопадающих линзовидных тел измененных пород, располагающихся кулисно или сливающихся в единые образования пластообразной формы. В пределах каждого тела отмечается четкая поперечно-зональная метасоматическая колонка. В гранодиоритах она имеет следующий вид:

- Зона 0 (гранодиорит).
  Кварц+калишпат+плагиоклаз+биотит+амфибол+титаномагнетит.

- Зона 1. Кварц+калишпат+плагиоклаз+биотит+хлорит+серицит+карбонат+рутил+магнетит.
- Зона 2. Кварц+калишпат+плагиоклаз+хлорит+серицит+карбонат+рутил+пирит
- Зона 3. Кварц+калишпат+плагиоклаз+серицит+карбонат+рутил+пирит.
- Зона 4. Кварц+калишпат+ серицит+карбонат+рутил+пирит.
- Зона 5.Кварц+серицит+карбонат+рутил+пирит.
- Зона 6. Кварц+серицит+рутил+пирит.

Метасоматическая колонка по породам основного состава близка рассмотренной. Главное отличие заключается в большей устойчивости хлорита по сравнению с полевыми шпатами и в заметно повышенном его содержании. В пределах золоторудных тел преимущественно развиты метасоматиты 3-6 зон. С глубиной наблюдается уменьшение общего количества тел измененных пород и сокращение ореола их распространения, так что общая фигура зон метасоматитов в центральной части месторождения приобретает вид конуса, обращенного вершиной вниз. На глубине появляются прожилковидные инъекции кварц-полевошпатовых и существенно калишпатовых метасоматитов, местами сливающихся в тела мощность до 20-30 м.

При изучении эндогенной зональности на месторождении анализировались также особенности изменения в пространстве: состава газовых включений в кварце; температур декрепитации кварца; термолюминесценции кварца; электрических свойств арсенопирита; эндогенных ореолов рассеяния; содержаний в руде различных металлов, в том числе золота. Результаты исследований отображены на рис. 16, где видно, что количество газово-жидких включений в кварце продуктивных ассоциаций с глубиной постепенно возрастает. Это происходит в основном за счет увеличения H_2O. Содержание CH_4 сохраняется примерно постоянным в пределах всего вертикального интервала развития рудных тел, CO_2 и H_2 преобладают в верхних горизонтах в пределах зоны развития полиметаллической ассоциации минералов. Значения температур гомогенизации кварца дорудной стадии равны 450-355°, рудной (ранней и поздней) — 390-265 и 265-185° и пострудной — 185-100°. В образцах раннего кварца рудной стадии температура главного максимума декрепитации составила 340°. Наибольшая интенсивность декрепитации отмечалась в диапазоне температур 340-320°. При анализе пространственного положения значений параметров декрепитации и оруденения оказалось, что на совмещенной вертикальной проекции рудной зоны распределение золота и температур растрескивания аналогично. Изолинии парамстров декрепитациии оконтуривают золотоносные участки. С глубиной температура максимального газовыделения вначале снижается, примерно до 320°, а затем постепенно возрастает до 350-360°, что сопровождается уменьшением интенсивности термолюминесценции. Типы декрептограмм кварца из рудных тел с различной степенью золотоносности неодинаковы. Это характерно для всех участков месторождения. Изучение термоэлектрических свойств арсенопирита показало, что в корневых частях рудных тел и на флангах минералу свойственна только дырочная проводимость, а в центральных и верхних — смешанная. На месторождении установлена геохимическая зональность. Ее ряд в направлении снизу вверх имеет следующий вид: W — Cr — Co — (Mo, Sb, Zn, Pb) — (As, Bi, Au) — Ag, Cu, Hg. Коэффициент зональности ($v = \dfrac{Hg \cdot Cu \cdot Ag}{W \cdot Cr \cdot Co}$) с глубиной уменьшается от $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ в верхних горизонтах до $3{,}15 \cdot 10^{-5}$ в корневых частях рудных тел. Большое внимание уделялось изучению особенностей пространственного размещения присутствующих в рудах ртути, висмута, мышьяка, меди, никеля, кобальта, вольфрама, серебра, а также основного металла — золота. По данным геометризации стало очевидным, что содержание ртути с глубиной быстро снижается. Зоны концен-

трации висмута, мышьяка, меди, серебра и золота совпадают. При этом по мере удаления от поверхности количество всех металлов в руде вначале возрастает, затем сохраняется постоянным в пределах определенного интервала и медленно уменьшается. В отличие от них содержания никеля, кобальта, вольфрама с глубиной, как правило, закономерно растут. Обогащенные золотом, мышьяком, висмутом участки имеют вид вертикальных вытянутых струй, ориентированных в северо-восточном направлении.

Изучение зональности в пределах верхних, вскрытых горными выработками и скважинами горизонтов, а также геологического строения месторождения в целом позволило реконструировать срезанную эрозией часть рудных тел. Эти исследования показали, что степень денудации объекта сравнительно невелика, что позволяет ожидать значительную глубинность в распространении оруденения. Кроме того, на уровне прогноза было отмечено, что при сохранении степени золотоносности горизонтальные размеры рудных тел с глубиной будут уменьшаться. В связи с этим наибольший вертикальный размах промышленного оруденения следует ожидать в центральной части штокверка. На флангах он будет меньше. Но здесь могут быть развиты различные по размерам скрытые штокверковые тела. Некоторые из них к началу работ по прогнозной оценке месторождения были подсечены поисковыми скважинами. Верхние части скрытых тел могут находиться на глубине, равной нескольким сотням метров от поверхности. Основное их количество, вероятно, будет пространственно связано с находящимися на глубине штоками кварцевых диоритов и располагаться в местах повышенной трещиноватости пород в зонах разломов, особенно их пересечений.

Таким образом, между значениями различных параметров эндогенной зональности и степенью золотоносности руд отмечаются определенные зависимости, которые могут являться косвенными признаками продуктивности рудных тел (табл. 87). Наряду с критериями локализации оруденения, они были использованы не только для установления общих контуров золотоносных руд, но и разбраковки их по промышленной ценности.

Подсчет прогнозных ресурсов проводился методом горизонтальных сечений. Для этого специально строились погоризонтные планы, на которых выносились общие контуры рудных тел, выделялись участки руд различного качества. Ресурсы золота подсчитывались в каждом блоке между сечениями.

Учитывая вертикальный размах оруденения и размещение в пространстве руд с различным качеством, были разработаны рекомендации, касающиеся отработки объекта. Они заключались в том, что извлечение из недр руды целесообразно проводить одновременно открытым и подземным способами. В этом случае в эксплуатацию будут вовлечены и скрытые рудные тела, заключающие в себе значительное количество полезных компонентов.

В настоящее время некоторые участки штокверков с подсчитанными ресурсами разведаны скважинами по сети 30×60 и 60×60 м. Сделанный прогноз подтвердился как в части пространственного размещения руд, так и их качества.

Для оценки рудопроявлений на флангах месторождения, где, как уже отмечалось, вертикальный размах рудных тел постепенно уменьшается в северо-восточном направлении, был специально собран и изучен каменный материал, характеризующий как рудные тела, так и вмещающие их породы. Эти исследования, а также всесторонний анализ окружающей геологической обстановки показали, что штокверки на обоих рудопроявлениях скорее всего представлены своими глубинными или даже корневыми частями.

Таблица 87

Критерии локализации и косвенные признаки золотоносности рудных тел

Группы критериев и признаков	Критерии локализации и признаки золотоносности рудных тел	
	высокой, средней	слабой
Структурные и магматические	Рудные тела развиваются в зонах интенсивного дробления пород в узлах пересечения разломов над глубокозалегающими штокообразными телами кварцевых диоритов	Рудные тела развиваются в зонах рассланцевания и незначительного дробления пород вдоль разломов над штокообразными телами кварцевых диоритов, залегающих на небольшой глубине
Текстурные	Преобладают руды прожилкового и прожилково-вкрапленного типов	Преобладают руды вкрапленного типа
Минералогические	Широко развиты минералы всех продуктивных ассоциаций	Преобладают минералы ранних слабозолотоносных ассоциаций
Метасоматические	Околорудные изменения проявлены интенсивно, зоны их развития характеризуются большой мощностью	Околорудные изменения проявлены слабо. В корневых частях рудных тел появляются прожилковидные кварц-полевошпатовые и калишпатовые метасоматиты
Геохимические, физические	В рудах отмечаются повышенные содержания As (2-3%), Bi (более 40 г/т) В кварце повышенные содержания H_2 и CO_2, пониженные - H_2O Эндогенные ореолы рассеяния проявлены четко. В них преобладают As, Ag, Au, Bi, Cu, Pb Температуры максимального газовыделения (T_{max}) менее 340° Интенсивность термолюминесценции кварца сравнительно высокая (30-50 усл. ед.)	Содержание As и Bi в рудах не превышает,соответственно 1,5-2,0% и 30-40 г/т В кварце низкие содержания H_2 и CO_2, сравнительно высокие - H_2O В слабо проявленных ореолах рассеяния преобладают Sb, Zn, Mo, W, Cr Температуры максимального газовыделения (T_{max}) равны 340-390° Интенсивность термолюминесценции кварца сравнительно низкая (20-30 усл. ед.)

Агинское месторождение

Относится к малоглубинному типу золото-серебряной формации. Оно локализовано в северо-восточной части палеовулкана центрального типа. В разрезе вулканоструктуры выделяются два структурных яруса: нижний, являющийся фундаментом палеовулкана, и верхний, слагающий собственно палеовулканическую постройку. Породы основания представлены вулканогенно-осадочной толщей мощностью около 400 м, в нижней части которой отмечаются лавы, брекчиевые лавы и туфы среднекислого и кислого состава. Верхние части сложены переслаивающимися аргиллитами, алевролитами, песчаниками, туффитами. Для верхнего структурного яруса характерны вулканиты (преимущественно двупироксеновые андезито-базальты), мощность которых около 900 м. Они расчленяются на три пачки примерно равной мощности. В нижней и верхней пачках резко преобладают лавы средне-основного состава, среднюю слагают преимущественно туфобрекчии и туфы андезитов. В поле развития вулканитов

широко распространены экструзии, субвулканические дайкообразные тела (дайки), штоки. Дайки, являющиеся весьма характерными геологическими образованиями палеовулкана, играют одну из основных ролей в его строении. Они особенно интенсивно развиты в пределах рудоносных участков, что позволяет относить данные площади к особому "дайковому" типу рудных полей. Морфология даек весьма сложная, часто это древовидные тела с расщеплением к верхним горизонтам и периферии палеовулкана. Простирание их северо-восточное, падение крутое. Протяженность даек различна: преобладают тела длиной первые сотни метров при мощности до 10-20 м, которые группируются в свиты и пучки вдоль северо-восточной оси структуры. В центральной, наиболее эродированной части палеовулкана, вскрыта серия сближенных субинтрузивных тел габбро-диоритов, диоритов, диоритовых порфиритов и субвулканических образований андезито-базальтов, маркирующих центральный некк.

Месторождение характеризуется сложной структурой, обусловленной как тектоническими, так и вулканическими факторами. Последние определили периклинальное залегание пород и концентрически зональное размещение вулканических, вулканогенно-осадочных образований. Главным структурным элементом месторождения является зона крутопадающих дизъюнктивов северо-восточного простирания шириной 2,5-4,0 км, которая прослеживается вдоль длинной оси вулканоструктуры. Данная зона состоит из большого числа субпараллельных, но сходящихся под острыми углами как в плане, так и в разрезе трещин скола и отрыва сложной морфологии. Преобладающая их часть характеризуется крутым падением на северо-запад; трещины юго-восточного падения, как правило, оперяют их. В целом разветвление разрывов происходит по восстанию со стороны висячего бока (см. рис. 53). Данные разрывы явились основными локализаторами рудных тел. Пространственное положение и морфология основных рудоносных зон определяются приуроченностью к долгоживущим разрывам, фиксирующимся зонами дробления, дайками, телами околотрещинных метасоматитов кварц-серицит-гидрослюдистого состава и кварцевыми жилами в отдельных их интервалах. Мощность дизъюнктивов не превышает первых метров при протяженности, равной нескольким километрам. Морфология и внутреннее строение зон отличается чрезмерной сложностью как по падению, так и по простиранию. Рассматривая строение рудоносных зон в целом, можно наметить основную тенденцию в смене характера разрывов: их усложнение к северо-востоку и по восстанию. Так, если на нижних горизонтах рудоконтролирующая структура представлена сосредоточенной зоной милонитизации и дробления, то в центральных (по гипсометрии) частях она фиксируется более мощной зоной дробления с относительно протяженными кварц-адуляровыми жилами, которые сменяются по восстанию и к северо-востоку ветвящимися непротяженными жилами адуляр-кварцевого и кварц-карбонатного состава, локализованными в мощных зонах трещиноватости, дробления и аргиллизации.

Морфология жил сложная, характеризуется наличием серии линз, прожилков, иногда расположенных кулисообразно. Жилы часто резко меняют мощность, тупо выклиниваются с расщеплением на маломощные прожилки, ветвятся. Наиболее сложная морфология жильных тел отмечается в участках сопряжения рудоносных структур; в подобных узлах возникают своеобразные штокверки с интенсивной насыщенностью кварцевым материалом.

В пределах зоны дислокаций северо-восточного простирания отмечается пространственная близость и унаследованность структур, контролирующих размещение даек, зон гидротермалитов и кварцево-жильных тел. Их распределение в пространстве имеет вид симметричных пучков, корни которых полого погружаются на юго-запад в направлении главного магмо-, рудоподводящего канала конформно линиям сочленения основных рудоконтролирующих разрывов между собой.

Пространственные взаимоотношения кварцевых жил и даек разнообразны; чаще всего рудоносные тела залегают в экзоконтактах даек, реже локализованы в них. В

последнем случае при "вхождении" в дайку отмечается смена единой кварцевой жилы серией прожилков, часто с образованием структуры типа "конского хвоста". При этом нередко после прохождения дайки вновь фиксируется единое кварцевое тело.

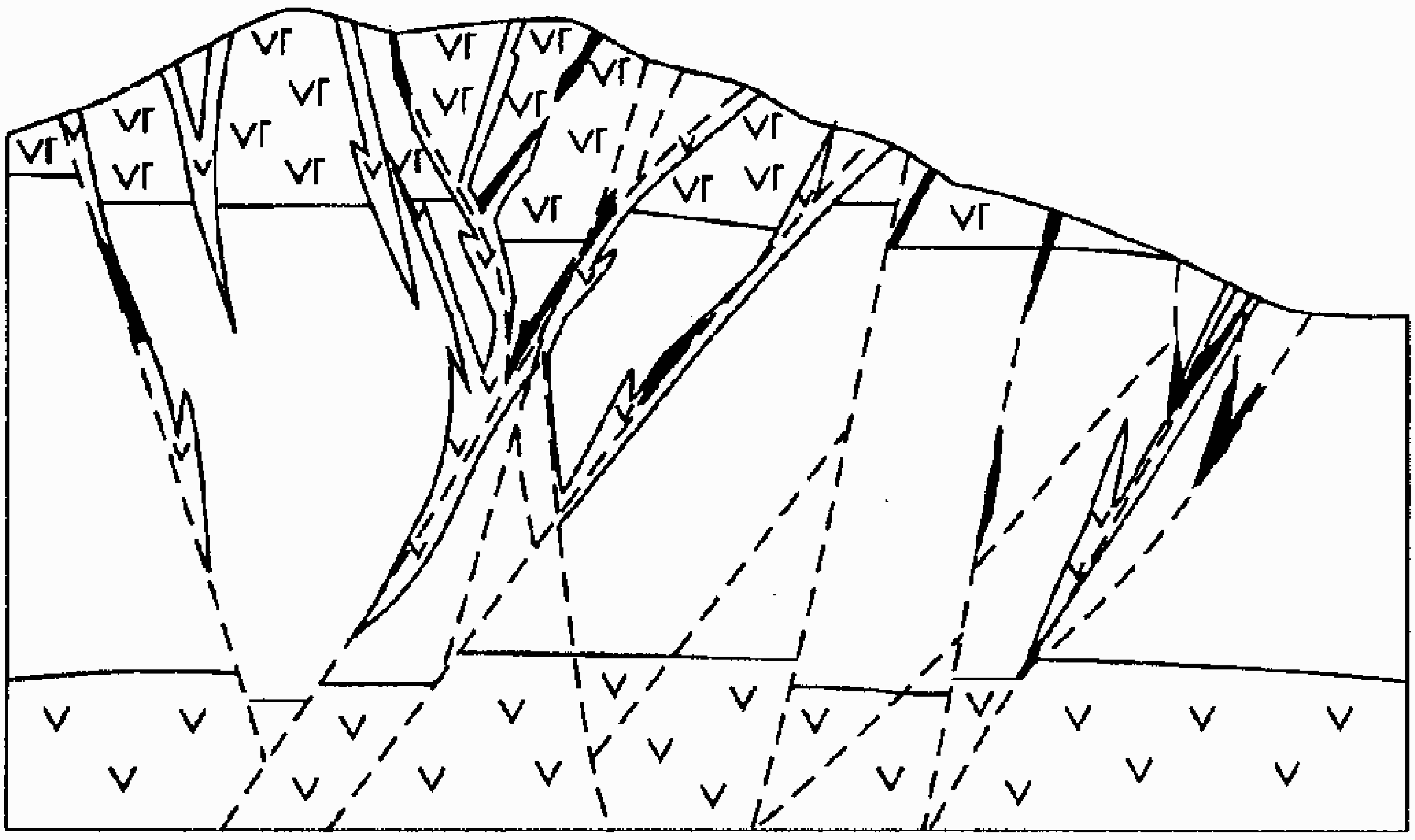


Рис. 53. Схематический геологический разрез центральной части месторождения (по Б.В. Гузману).

Усл. обозн. см. на рис. 55

Разрывные нарушения северо-западного направления являются второстепенными по масштабу проявления и фиксируются в виде кулис сближенных тектонических трещин, являющихся преимущественно малоамплитудными сколами. Рассматриваемые разрывы кварцевых жил не вмещают. Разломы ортогонального плана ориентировки в пределах палеовулкана маркируются наименее четко по сравнению с рассмотренными выше.

Многочисленные замеры трещин и анализ их пространственного положения позволил выделить среди них семь систем, отметить наиболее интенсивное развитие в пределах пирокластических образований, выделить участки сгущения и концентрации в зоны. Три из них, крутопадающие, северо-восточного, северо-западного и субширотного простирания имеют четко локализованные максимумы ориентировки. Анализ особенностей пространственной ориентировки трещин, их генетического типа и масштаба проявлений, положения относительно основных рудовмещающих структур позволил установить резкое увеличение интенсивности трещиноватости по мере приближения к основным разрывам, упорядоченность в ориентировке, наметить закономерности в пространственной позиции наиболее золотоносных апофиз.

В пределах рудного поля к настоящему времени выявлено свыше 30 рудоносных структур, две из которых локализуют в себе 75 % запасов металла.

Анализ распределения оруденения в основных структурах показывает, что золотая минерализация локализована в полого склоняющихся в плоскости разрывов лентах бедных и забалансовых руд, осложненных в верхних частях богатыми рудными телами крутого склонения. Главным фактором, обусловившим распределение жильных тел и связанной с ними минерализации, является сложнопостроенная зона разветвления рудоконтролирующей структуры по вертикали. Оруденение сконцентрировано в областях смены углов падения от субвертикальных на пологие, в участках резкого разветвления структур и как бы ограничено в разрезе верхней и нижней существенно лавовыми пачками.

Важнейшей особенностью пространственного распределения золотого оруденения является высокая неравномерность, подчеркивающаяся коэффициентом вариаций, достигающим 330 %, а также соотношением закономерной и случайной составляющей изменчивости содержаний. Данное соотношение весьма характерно для золоторудных месторождений с бонанцевым характером распределения оруденения. Анализ пространственного размещения оруденения показал, что контур рудных столбов I порядка практически полностью совпадает с границами рудных тел (рис. 54). Столбы представляют собой воронкообразные или желобообразные вытянутые по

падению образования. Характеризуясь крутым (до 85°) склонением в плоскостях рудовмещающих структур на верхних горизонтах и расщеплением на две-три ветви (рудные столбы II порядка), они с глубиной 150-200 м, выклиниваясь, приобретают пологое (до 15°) склонение, конформное линиям сочленений основных рудоконтролирующих разрывов, "сливаются" основаниями, образуя в общем виде полого склоняющиеся ленты бедных руд.

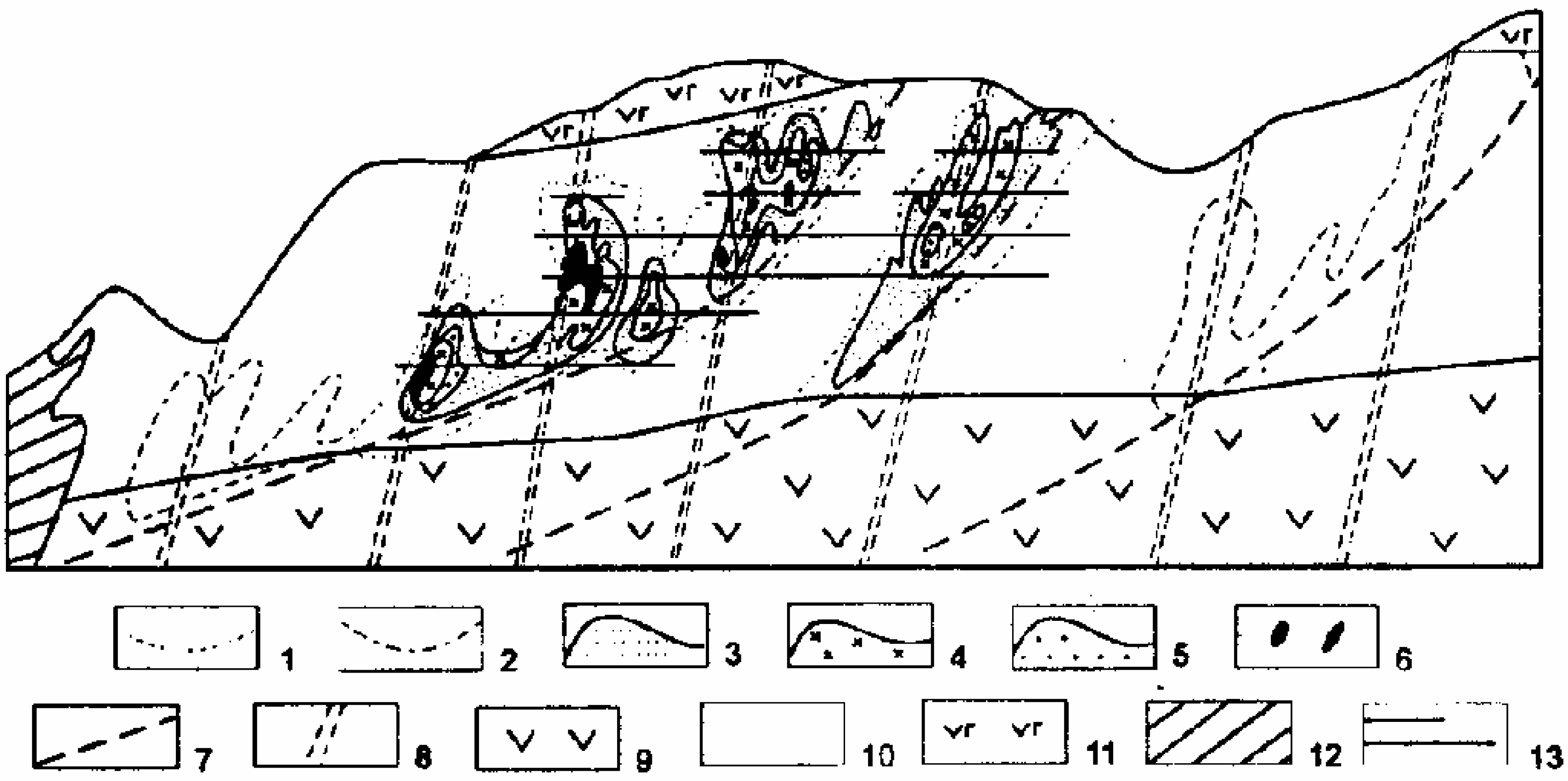


Рис. 54. Схема распределения промышленного оруденения в одной из основных структур месторождения с элементами прогноза (продольная проекция на вертикальную плоскость) (по Б.В. Гузману).

1-2 - контур кварцево-жильных тел: 1 - установленный, с запасами категории C_1+C_2, 2 - прогнозируемый с ресурсами P_1; 3-6 - границы распространения рудных столбов: 3 - первого, 4 - второго, 5 - третьего, 6 - четвертого; 7-8 - линии сочленений: 7 - с основными рудоподводящими структурами северо-восточного направления, 8 - с рудоопределяющими зонами повышенной трещиноватости субширотного простирания; 9 - андезито-базальты нижней пачки; 10 - туфобрекчии и туфы андезитов средней пачки; 11 - андезито-базальты верхней пачки; 12 - центральный некк (андезито-базальты, диоритовые порфириты, габбро-диориты); 13 - горизонты штолен

Богатые руды образуют в пределах рудных тел столбы III–IV порядков, морфологически выраженные бонанцами, гнездами, струями (полосами) и обусловливают "мозаичную" и "симметрично-полосчатую" картину распределений концентрации золота. Характеризуясь весьма малыми параметрами по простиранию и незначительным вертикальным размахом (рис. 55), они концентрируют в себе до 85 % металла.

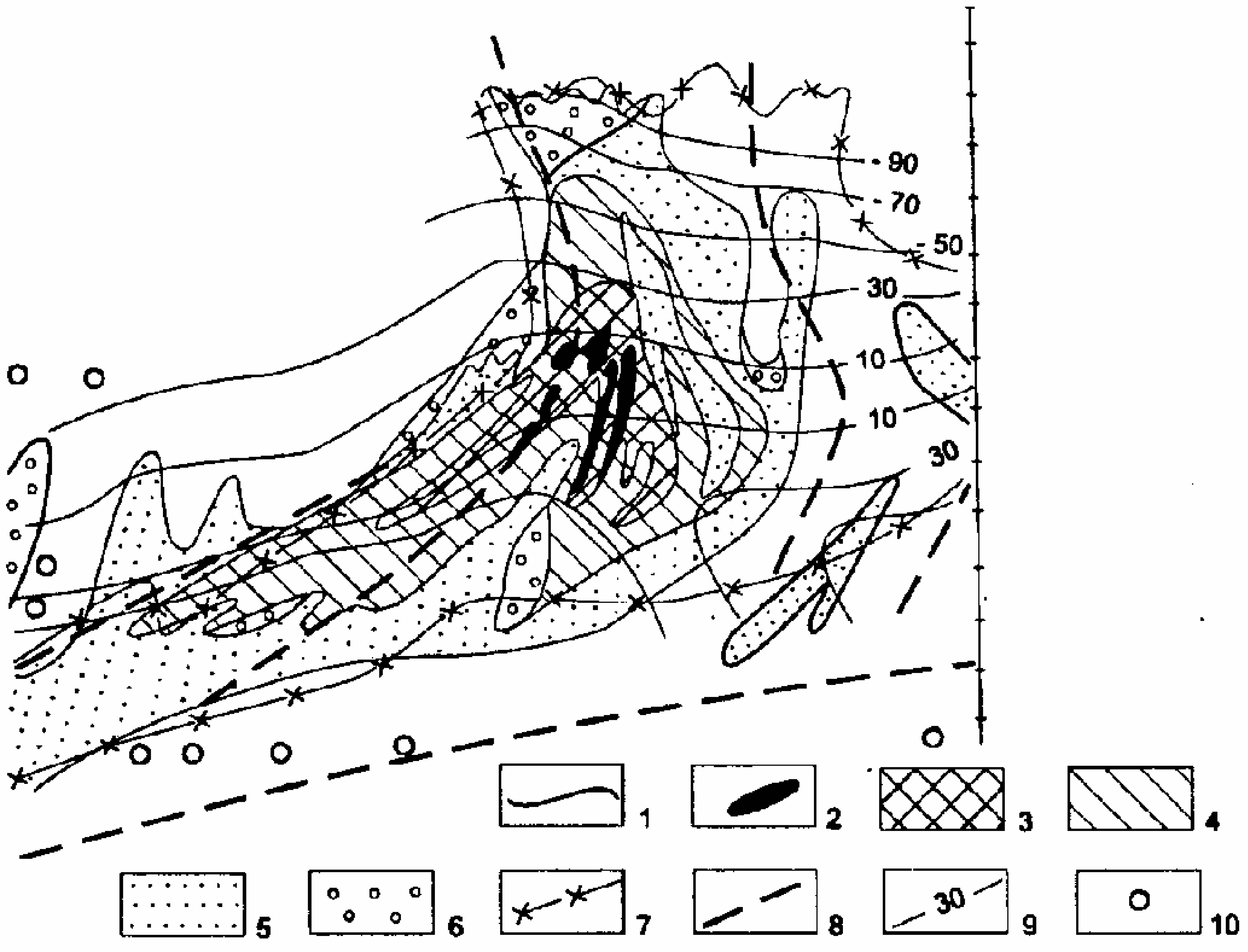


Рис. 55. Характер размещения золотого оруденения в рудном теле (продольная проекция на вертикальную плоскость) (по Б.В. Гузману).

1 - границы участков оруденения различной интенсивности; 2 - очень богатые руды; 3 - богатые руды; 4 - рядовые руды; 5 - бедные руды; 6 - очень бедные руды; 7 - контур кварцево-жильных образований; 8 - линии сочленений с основными оперяющими и сопряженными разрывами; 9 - изолонги лежачего бока рудовмещающей структуры; 10 - разведочные скважины

Анализ закономерностей локализации оруденения показывает, что условия размещения руд главным образом определяются структурно-литологическими факторами. Сравнение рельефа рудовмещающих структур, отображенных изолонгами на продольных проекциях, с характером изменения продуктивности показывает, что пространственное положение рудных столбов и их морфология обусловлены трещинными полостями, возникшими в пределах сложноволнистых плоскостей сместителей рудоносных разрывов во внутрирудный этап в результате тектонических перемещений. Подобные усложнения морфологии в теле разрыва в совокупности образовали полого склоняющиеся желобообразные полости, конформные "ребрам" сочленений встречнопадающих дизъюнктивов и расположенные выше последних, в участках резкого разветвления рудоконтролирующих разломов.

Проведенные тектоно-физические исследования позволили оценить кинематику рудовмещающих структур, связать формирование основных рудных тел с геодинамическим режимом, определяемым правосторонними взбросо-, сбросо-сдвигами (при ведущей роли горизонтальной составляющей), что и обуславливает закономерности в пространственном положении трещинных полостей — локализаторов руд в пределах сложноволнистых дизъюнктивов.

Установленный план тектонических деформаций рудного этапа хорошо коррелируется с результатами минералогического картирования и позволяет объективно выделить три стадии тектонического режима рудного процесса с соответствующими продуктивными комплексами: золото-адуляр-кварцевыми, золото-теллуридно-хлорит-(корренсит)-адуляр-кварцевыми и золото-цеолит-карбонат-кварцевым. Минералы первых двух комплексов являются наиболее золотоносными и приурочены к долгоживущим сколовым трещинам. Золото-теллуридно-хлорит-(корренсит)-адуляр-кварцевый комплекс помимо высоких концентраций благородных металлов характеризуется повышенным содержанием теллура и определяет позицию рудных столбов III–IV порядков (рис. 56). Остальная часть рудных тел выполнена минералами золото-адуляр-кварцевого комплекса. Периферические части рудных столбов, характеризующиеся резко изменчивыми содержаниями полезных компонентов, как правило, сложены агрегатами обоих комплексов. С наиболее поздним золото-цеолит-карбонат-кварцевым комплексом связаны рудные тела, выполняющие трещины оперения основных структур. Последние развиты локально, характеризуются очень малыми мощностями при высоких концентрациях золота, что определяет в целом их слабую продуктивность.

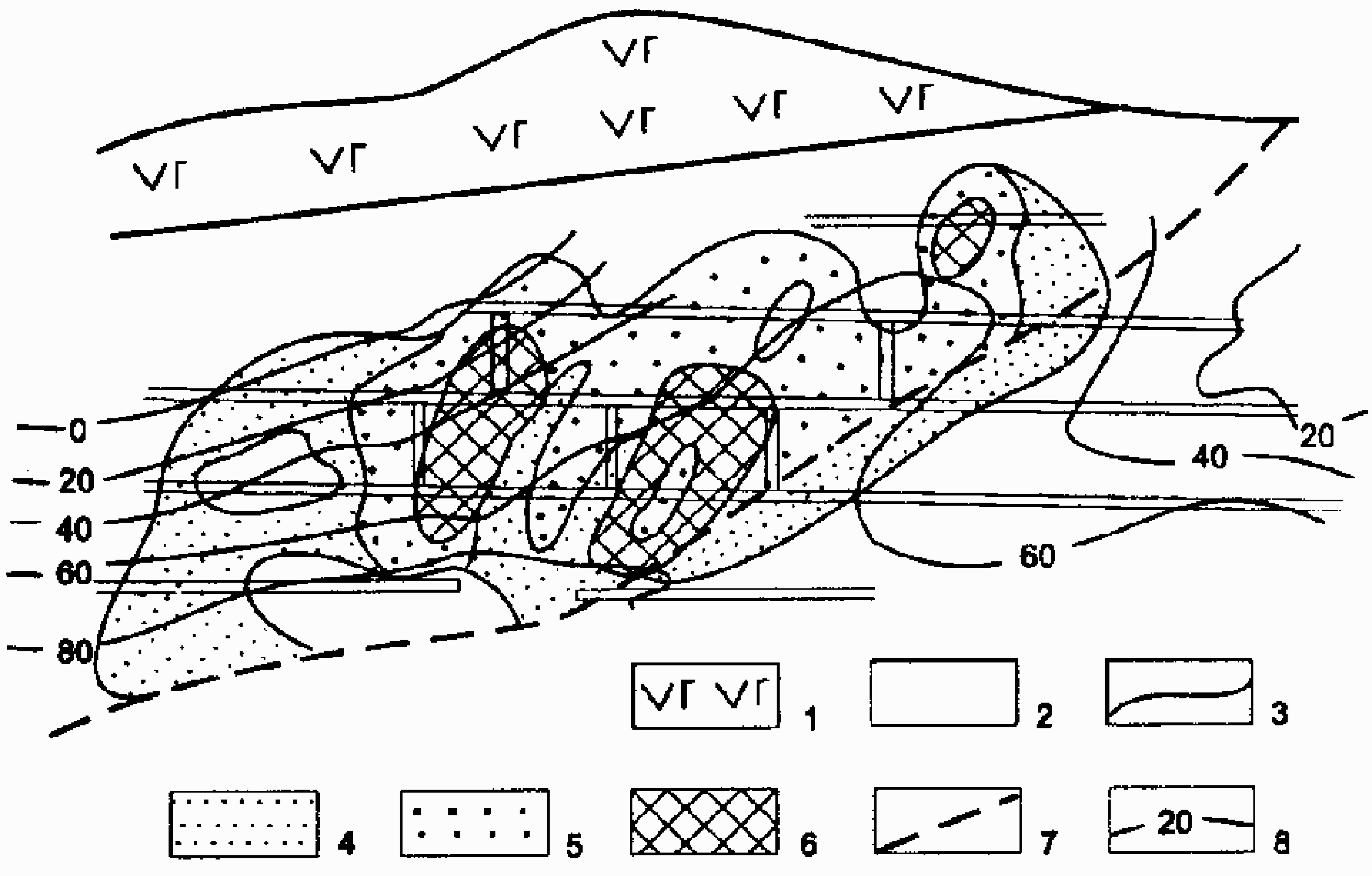


Рис. 56. Размещение основных продуктивных минеральных комплексов рудного тела на продольной проекции (по Б.В. Гузману).

1 - верхняя существенно лавовая пачка вулканитов средне-основного состава; 2 - средняя существенно туфовая пачка вулканитов; 3 - граница распространения продуктивной минерализации разного состава; 4-6 - жильные гидротермальные образования, сложенные продуктивными комплексами: 4 - золото-адуляр-кварцевым (бедные и рядовые руды), 5 - совмещением агрегатов золото-адуляр-кварцевого и золото-теллуридно-хлорит-(корренсит)-адуляр-кварцевого комплексов (богатые руды), 6 - золото-теллуридно-хлорито-(корренсит)-адуляр-кварцевым (очень богатые руды); 7 - линия сочленения основных рудовмещающих структур; 8 - изолонги лежачего бока рудовмещающего разрыва

На рассматриваемом объекте проявлена эндогенная зональность. Ей свойственны следующие черты: развитие теллуридсодержащих минеральных ассоциаций богатых руд в верхних и средних частях рудных зон; преимущественное развитие минеральных ассоциаций рядовых руд, отличающихся слабым проявлением теллуридной минерализации в нижних частях рудных зон; распространение минеральных ассоциаций с преобладающим развитием золотосодержащих телллуридов в верхних частях рудных зон, и с преобладанием серебросодержащих теллуридов в средних частях; снижение пробы золота (от 936–952 до 740–840) и золото-серебряного отношения с глубиной; увеличение с глубиной роли гребенчатых, розетковидных, пластинчатых текстур жильных агрегатов относительно коломорфно-полосчатых, игольчато-полосчатых текстур, развитых преимущественно в верхних частях рудных зон.

В локализации оруденения важную роль сыграли петрофизические факторы: известные месторождения и рудопроявления локализованы по периферии основного некка палеовулкана, оруденение сконцентрировано главным образом в пределах средней "туфовой" пачки, рудные тела приурочены к наиболее мощным и интенсивно измененным зонам околотрещинных метасоматитов, к зонам дробления с материалом определенного гранулометрического состава, весьма часто к контактам даек, субвулканических тел и т.п. Для выяснения роли физико-механических свойств среды в локализации оруденения были проведены специальные исследования, позволившие установить, что наиболее информативными в этом отношении признаками являются плотность, условно-мгновенное насыщение, модуль Юнга, твердость, скорость продольных ультразвуковых волн. Анализ отдельных бинарных и тройных диаграмм, а также полученных на ЭВМ дендрограмм позволил выделить две петрофизические группы. К первой, условно названной "лавовой", отнесены слабоизмененные лавы, кластолавы, дайки, субвулканические и интрузивные тела, кварц. Эти образования характеризуются высокими значениями упруго-прочностных, теплоемкостных свойств и низкими — фильтрационно-пористых. Для них характерны понижения до отрицательных значений $К_{пк}$. Во вторую группу, условно названную "туфовой", объединены туфы и туфобрекчии, отдельные дайки, субвулканические тела и потоки лав, интенсивно измененные вблизи контактов с тектоническими разрывами. Данные вулканиты обладают высокими значениями эффективной пористости, параметров динамики насыщения и низкими характеристиками упругих, прочностных и теплоемкостных свойств. В целом данным породам присущи высокие положительные значения $К_{пк}$, достигающие 3,5. Анализ графиков изменения петрофизических параметров в зависимости от степени гидротермальной переработки вулканитов показал возрастание в гидротермалитах эффективной пористости в 1,5-3 раза; тесно связанные с пористостью упругие и прочностные характеристики уменьшаются при этом в 1,5-2 раза. Построение петрофизических разрезов показало наличие тесной связи степени гидротермальных изменений не только с характером изменения физико-механических свойств, но и с накопление рудных компонентов. Таким образом, процесс дорудной пропилитизации и околотрещинного метасоматоза весьма благоприятен для формирования рудоносных структур и отложения руд. В то же время гидротермальная аргиллизация, проявленная в пределах центрального некка, привела к уменьшению прочности, увеличению пористости и одновременно явилась причиной увеличения пластичности и вязкости пород, что ухудшило свойства субвулканического штока как потенциально рудовмещающей среды. Наличие в разрезе вулканитов контрастных по своим петрофизическим параметрам групп пород: первой — "лавовой" — ультра-, и микропористой, малопористой, упругой и высокопрочной; второй — "туфовой" — высокопористой, макро-, микропористой, малопрочной и малоупругой представляет как различную их фильтрационную способность, так и возможность возникновения и развития хрупких деформаций в их пределах при одинаковых тектонических напряжениях, наличие геолого-структурной зональности, различной морфологии рудных тел и, как следствие, различную их продук-

тивность. В ряду: интрузии — субвулканические тела — лавы — пирокластические образования благоприятная с точки зрения рудоносности обстановка нарастает к конечным членам; в них даже при относительно низких уровнях тектонических напряжений образуется серия сквозных трещин, которая в сочетании с повышенной пористостью данных пород благоприятствует циркуляции растворов и отложению руд.

Таким образом, среди вулканитов месторождения по физико-механическим параметрам выделяются петрофизические группы и подгруппы пород, одни из которых являются средами, благоприятными в локализации руд, другие служат своеобразными "экранами", петрофизическими барьерами.

Прогнозная оценка оруденения флангов и глубоких горизонтов месторождения базировались на всей совокупности геологических данных и критериев (табл. 88), а также на анализе изменения в пространстве значений некоторых параметров рудных тел и рудовмещающей среды в зависимости от уровня рудной колонны.

Проведенные тектоно-физические исследования позволили, применив метод аналогии, выявить сходную структурную обстановку при проявлении основных этапов рудообразования в целом для вулканоструктуры. В итоге был сделан вывод, что общее пологое склонение рудно-магматической системы в юго-западном направлении обусловлено слабонаклонной ориентировкой осей наибольших сжимающих тектонических напряжений. Подобная тектоно-физическая основа прогноза, обусловленная региональными полями тектонических напряжений сдвигового характера, дает возможность экстраполировать выявленные закономерности локализации оруденения как на глубокие горизонты и фланги месторождения, так и на другие участки рудного узла со сходным геологическим строением.

В пределах рудного поля основным морфологическим типом рудных тел является кварцево-жильный. Жилы локализованы в крутопадающих разрывах. Кроме них, в данной структуре вполне могут быть выявлены рудные тела типа минерализованных зон. В первом приближении к ним в настоящее время можно отнести субвулканический шток, некоторые интервалы даек, участки сочленения крупных разломов северо-восточного и северо-западного простираний, участки развития некоторых субвулканических штоков в северо-восточной и юго-западной частях палеовулкана.

Рассмотренные критерии позволяют с достаточной степенью уверенности экстраполировать контур оруденения, с учетом полного склонения рудно-магматической системы, на глубину, которая определяется нижней границей благоприятной среды рудоотложения (средняя "туфовая" пачка) и северо-восточным контактом центрального некка. Последний скорее всего в отношении концентрации оруденения является средой неблагоприятной. Прогноз оруденения на северо-восточном фланге месторождения сделан в пределах полосы рудоконтролирующих дизъюнктивов до пересечения с зоной повышенной трещиноватости субширотного простирания, совпадающей с обрамлением палеовулкана, и основывался на постепенном затухании степени гидротермальной и тектонической проработки вулканитов в данном направлении.

Геометризация прогнозируемого оруденения осуществлялась, с одной стороны, на основе установленных закономерностей пространственного положения и периодичности размещения рудных столбов (с учетом средних объемных параметров рудных лент и столбов), с другой — базируется на применении критериев, учитывающих тесную пространственно-временную связь даек и оруденения.

Пространственное положение и морфология трещинных полостей-локализаторов руд уточнялась построением рельефа рудоконтролирующих структур в изолонгах по имеющимся данным геологоразведочных работ, с экстраполяцией на более глубокие горизонты. С учетом всех данных выделялись блоки, в которых подсчитывались ресурсы категории P_1.

Таблица 88

Критерии прогноза и поисков золотого оруденения жильного типа

Критерии	Значение критериев в формировании оруденения
Рудные поля, месторождения	
Тектонические блоки вулканитов интенсивной дислоцированности и гидротермальной проработки на пересечении вулканоструктур с разломами глубокого заложения	Структурная позиция
Фации продуктивных магматических формаций (вулканическая, субвулканическая, интрузивная)	Литолого-структурный контроль
Скрытые разломы фундамента, их пересечения, на которых заложилась рудоносная вулканоструктура	Магмо- и рудоподводящие каналы
Морфология субвулканических и экструзивных тел	Элементы конформности контактов магматических тел и оруденения
Пучки даек и зон гидротермалитов	Участки многоэтапного унаследованного развития трещинных структур
Рудные тела, столбы	
Главные элементы трещинной структуры рудных полей: - односистемные крутопадающие зоны повышенной трещиноватости и разрывов - многосистемные крутопадающие разрывы	Характер морфологии, тип и параметры рудоносных структур
Эксплозивные и гидротермальные брекчии трубчатой и уплощенно-конической формы	Центры разрядки тектонических напряжений, глубокая структурная проницаемость
Зоны повышенной трещиноватости, поперечные к основным элементам структуры	Позиция рудных тел и столбов, периодичность в их размещении
Зоны и "ребра" сопряжений плоскостей встречнопадающих рудовмещающих структур	Участки проявления "дроссельного эффекта" и массового отложения руд; конформность в размещении оруденения
Концевые части разрывов Внутриблоковые зоны деформаций	Зоны, участки локальных растяжений на фоне регионального сжатия
Клиновидные тектонические блоки Сложноволнистая, гофрированная поверхность сместителей разрывных структур	Позиция структурных ловушек для оруденения
Узлы сопряжений разнонаправленных дизъюнктивов Сочетание пологих и крутопадающих разрывных структур	Элементы экранирования оруденения
Расщепление и выполаживание рудовмещающих структур по восстанию, пучковый характер разрывов	Структурный контроль оруденения, структурная зональность
Интервалы рудных тел с повышенными мощностями	Позиция рудных столбов
Литологические неоднородности строения участков рудоносных построек	Литологический контроль оруденения, петрофизические барьеры рудоотложения
Мощности благоприятной рудовмещающей толщи	Общий вертикальный размах оруденения

Анализ изменения продуктивности оруденения указывает на наличие устойчивой плавной тенденции уменьшения его с глубиной и по восстанию (по отношению к центральным столбам). В связи с этим при подсчете прогнозных ресурсов к содержаниям золота вводился поправочный коэффициент 0,8 к каждому последующему по склонению рудного тела блоку.

При решении вопросов геолого-экономической оценки оруденения глубоких горизонтов учитывалось следующее. Вещественный состав рудных тел с глубиной по склонению практически не меняется, поэтому схема технологической переработки руд глубоких горизонтов предполагается неизменной. Значительное удорожание стоимости эксплуатационных работ будет связано с резким увеличением длины подходных штолен при продвижении отработки на большие глубины и с переходом в конечном счете к добыче шахтным способом.

При прогнозной оценке глубоких горизонтов и флангов одним из главных вопросов является геометризация на месторождении в целом, в рудных телах или зонах их развития значения косвенных признаков оруденения, что позволяет обоснованно оконтурить зону его развития, дифференцировать ее по качеству руд, подсчитать прогнозные ресурсы в пределах всего горизонтального и вертикального интервала развития рудных тел.

По значениям критериев и косвенных признаков устанавливаются и параметры оруденения, необходимые для подсчета ресурсов. Подсчет рекомендуется проводить по той же методике, что и запасов. Отличие заключается лишь в том, что все подсчетные параметры являются прогнозными, а сам подсчет проводится в рудных телах или их крупных блоках, а также в зонах развития рудных тел.

Рассмотренные повышенные требования к оценке прогнозных ресурсов глубоких горизонтов и флангов обеспечивают высокую надежность выявления и пространственного размещения оруденения в недрах, общих масштабов месторождений.

При прогнозной оценке должны быть решены также вопросы, касающиеся возможности использования руд в качестве комплексного сырья, извлечения из них наряду с золотом сопутствующих металлов. Кроме того, следует установить наиболее вероятный характер изменения в объеме месторождений технологических типов руд.

VI. Ускоренная геолого-экономическая оценка месторождений

Ускоренная геолого-экономическая оценка золоторудных месторождений базируется на учете их главных свойств — с одной стороны, и условиях промышленного освоения, которые определяют уровень затрат на добычу и переработку руды, объем капиталовложений в промышленное строительство — с другой. В конечном итоге промышленное значение запасов определяется принятыми кондициями, главными из которых являются лимиты содержания полезного ископаемого, которые зависят, прежде всего, от полной себестоимости добычи и переработки 1 т руды, а также от степени разубоживания ее и извлечения полезного ископаемого. Себестоимость добычи в значительной мере определяется морфологией и условиями залегания рудных тел с промышленным оруденением, в соответствии с которыми намечаются способы вскрытия и эксплуатации, а также системы разработки месторождений. Последние, в свою очередь, в совокупности с геологическими параметрами обуславливают величину разубоживания руды.

Совокупность показателей состава руд и технологии их переработки оказывает решающее влияние на себестоимость конечного продукта. Поэтому наряду с природными свойствами руд учитываются также особенности технологических процессов, позволяющих извлекать полезное ископаемое с возможно большей полнотой.

При прочих равных условиях немаловажную роль играет масштаб производства, который, в первую очередь, определяется разведанными запасами месторождения. В общем случае, как известно, чем выше производительность предприятия, тем ниже себестоимость продукции. Этот экономический закон применим и к горно-перерабатывающему производству.

Наконец, на экономику производства в значительной мере влияет местоположение объекта относительно центров развития промышленности вообще и горно-металлургической в особенности.

Следовательно, географо-экономические условия также являются одним из важных факторов, которые необходимо учитывать при оценке месторождений.

Методы ускоренной геолого-экономической оценки коренных месторождений золота были созданы в ЦНИГРИ применительно к ранним стадиям их изучения. Для этих методических решений потребовалось обобщить огромный опыт, накопленный научно-исследовательскими (ЦНИГРИ) и проектными институтами (ВНИПИгорцветмет, Дальстройпроект, Унипромедь и др.), а также производственными организациями Мингео СССР и Минцветмета СССР.

Для целей геолого-экономической оценки, которая базируется на определенных значениях параметров, необходимы группировки месторождений, основанные на количественных характеристиках. Поэтому для решения задач ускоренной оценки золоторудных месторождений были разработаны специальные геолого-экономические группировки.

В качестве главного критерия, определяющего отнесение объекта к той или иной группе месторождений, принята степень той или иной природной особенности, того или иного условия освоения на соответствующий экономический показатель: себестоимость добычи, себестоимость переработки или полную себестоимость 1 т руды. Обобщенный опыт геолого-экономической оценки и сравнительный анализ влияния

отдельных параметров на ее результаты позволили выделить главные характеристики природных особенностей рассматриваемых месторождений.

К их числу отнесены: морфология и условия залегания рудных тел, вещественный состав и структурно-текстурные характеристики руд, а также запасы месторождений.

Для характеристики морфологии рудных тел с позиции геолого-экономической оценки достаточно определить их форму и среднюю мощность; в меньшей мере — размеры по простиранию и падению. Последние представляют собой дополнительный показатель и не имеют самостоятельного значения.

Условия залегания рудных тел определяются в основном углом их падения. Представляется достаточным выделять крутопадающие тела с углом падения свыше 50° и пологозалегающие (соответственно с углом менее 50°).

Многообразие минералогического и вещественного состава руд, их структурных и текстурных особенностей, форм нахождения полезного ископаемого вызвало необходимость группировки месторождений с точки зрения применения различных технологических процессов переработки руд, существенно отличающихся по своим экономическим показателям. Основными процессами при обогащении руд, как известно, являются гравитация, флотация и цианирование. В практикуемых технологических схемах переработки нередко применяются комбинации из этих процессов. Особое место занимают руды, требующие помимо обогащения, металлургического передела концентратов.

В процессе группировки месторождений по технолого-экономическим свойствам руд учитывались не только экономические показатели отдельных процессов, но и их наиболее типичные комбинации (например, гравитация и цианирование, гравитация и флотация и т.д.), которые применимы к тому или иному типу руд. Принималась во внимание также сложность технологической схемы, приводящая иногда к увеличению капиталовложений на строительство всего технологического комплекса.

Масштабы золоторудных месторождений колеблются в весьма больших пределах. Самые крупные отличаются от самых мелких на два порядка и больше. В столь же большой мере варьируют масштабы годовой производительности предприятия. Из всего этого широкого спектра месторождений для целей ускоренной оценки необходимо выбрать ограниченное число групп, увязав их со способами отработки и стандартной производительностью основного оборудования обогатительных фабрик. При этом приходится учитывать, что при удвоении производительности предприятия себестоимость добычи и переработки снижается всего на 15-20% (по данным А.М. Сиразутдинова).

В значительно меньшей мере различаются между собой месторождения по географо-экономическим условиям. Разница в величине так называемых районных коэффициентов между наиболее благоприятными и наименее освоенными районами с разных позиций (по уровню эксплуатационных расходов, по объему капиталовложений и т.д.) не превышает 3-х–4-х кратных значений.

Все многообразие возможных вариантов оценки, укладывающихся в рассмотренные выше аспекты, не должно быть слишком большим, чтобы не усложнить ускоренную оценку.

В каждой группировке месторождений по тому или иному признаку выделялось, как правило, не более 3-х–4-х таксономических единиц. Это положение, в свою очередь, вызывает необходимость ограничить совокупность рассматриваемых объектов наиболее типичными, характерными месторождениями и вывести за рамки группировок уникальные и редко встречающиеся индивиды.

Разработанная нами группировка золоторудных месторождений по морфологии и условиям залегания рудных тел, охватывает все основные типы их и приводится ниже (табл. 89).

Таблица 89

Группировка рудных тел коренных золоторудных и золото-серебряных месторождений по морфологии и условиям залегания.

Типы рудных тел	Морфологические особенности рудных тел, относящихся к данному типу	Условия залегания и мощность рудных тел	Характерная протяженность рудных тел по простиранию (при n=1÷10)
I	Штокверки, жильные зоны, крупные минерализованные тектонические зоны и залежи относительно простой формы	Крутопадающие тела мощностью более 5 м и пологозалегающие мощностью более 20 м	от n x 100 до n x 1000
II	Линзы, линзообразные залежи, жильные зоны, крупные жилы простой и сложной формы	Крутопадающие тела мощностью 1,5 - 5 м	n x 100
III	Жилы, жилообразные и линзообразные тела простой и сложной формы	Крутопадающие тела мощностью менее 1,5 м	от n x 10 до n x 100
IV	Жилы, линзы и линзообразные залежи различной формы	Пологозалегающие тела мощностью от 1,5 до 5 м	от n x 10 до n x 100

В группировке золоторудных и золото-серебряных месторождений по технолого-экономическим особенностям их переработки, которая так же, как и предыдущая группировка, применялась в масштабе подотрасли благородных металлов и алмазов много лет, предусматривается четыре таксономические единицы (табл. 90).

Таблица 90

Технолого-экономические типы наиболее распространенных золотых и золото-серебряных руд (для геолого-экономической оценки прогнозных ресурсов по номограмме)

№№ типов	Технолого-экономические типы руд (соответствующие им промышленные типы руд)	Полезные компоненты		Примечание
		основные	обычные попутные	
1	Малосульфидные золотые и золото-серебряные (золотые со свободным золотом легко обогатимые, серебро-золотые)	золото, серебро	-	Содержание сульфидов не превышает 5%
2	Существенно сульфидные (медно-серебро-золотые, цинково-серебро-золотые, сурьмяно-золотые, медно-цинково-серебро-золотые)	золото, серебро	свинец, цинк, медь, кадмий	Содержание сульфидов выше 5%
3	Труднообогатимые (золотые с тонкодисперсным золотом, мышьяковистые "упорные")	золото, серебро	-	Вредные примеси: мышьяк >1,5%. Углерод, глинистое вещество, окислы марганца и т.д.
4	Флюсовые (золотые со свободным золотом, легко обогатимые)	золото, кремнезем		Содержание кремнезема не менее 60%

Малосульфидные золотые и золото-серебряные руды отличаются тем, что в основу технологии их переработки положена цианистая схема (по полному иловому процессу или с сорбционным выщелачиванием), с выделением свободного и относительно крупного золота гравитационным методом. Гравитационный концентрат доводится на концентрационном столе до золотой головки, которая плавится на месте.

Следует отметить, что при повышенных содержаниях серебра (свыше 100 г/т) значительно возрастает расход цианида и, как следствие, увеличивается стоимость переработки (до 30%).

Существенно сульфидные руды, как золотые, так и золото-серебряные, с относительно невысоким содержанием мышьяка (до 1,5%) при всем разнообразии соотношений основных и попутных компонентов, объединяет общий для них процесс флотации. Он является основным способом получения концентратов практически всех цветных металлов.

Нередко флотация применяется в комбинации с гравитацией (в голове процесса обогащения) и цианированием флотоконцентратов (либо хвостов флотации). Поскольку цианированию обычно подвергаются не сами руды, а концентраты, разница в экономических показателях переработки собственно золотых и золото-серебряных руд практически отсутствует.

В целом, себестоимость переработки существенно сульфидных руд приблизительно на 15% выше, чем малосульфидных. В ряде случаев может быть достигнуто значительное снижение себестоимости за счет реализации попутных продуктов (меди, свинца, цинка и пр.), являющихся сырьем для металлургических заводов.

Труднообогатимые золотые и золото-серебряные руды объединяют разности, требующие дополнительных технологических переделов. К ним относятся окисленные руды, руды с дисперсными полезными компонентами или вредными примесями, значительно усложняющими технологический процесс.

К вредным примесям могут быть отнесены мышьяк, соединения селена и теллура с золотом, марганец, пирит при высоком содержании его, глина и углеродистые вещества. В зависимости от характера вредной примеси применяются различные специальные методы. Так, например, для мышьяковистых и пиритных руд может быть применена флотационная схема с последующим обжигом флотоконцентратов и цианированием огарков.

Для учета влияния масштаба месторождения на технико-экономические показатели освоения его промышленностью нами на основе предложений П.Л. Каллистова, применительно к месторождениям медно-колчеданных руд, была разработана группировка золоторудных и золото-серебряных месторождений по величине их запасов. Главным критерием для отнесения месторождения к той или иной группе служат запасы руды, поскольку промышленное оборудование обогатительных фабрик рассчитано на определенную пропускную способность именно по руде.

В практике перерабатывающей промышленности цветной металлургии применяются общие стандарты на производительность обогатительных установок, а именно: 165, 330, 660, 1000, 2000 и 5000 тыс. т руды в год. Эти стандарты и определяют обычно величину годовой производительности проектируемых ГОК'ов, срок обеспеченности которых запасами сырья несколько меняется в зависимости от масштаба производства. В 60-е годы и ранее этот срок строго регламентировался нормами технологического проектирования горно-металлургических предприятий. В последнее время проектные институты и планирующие организации используют эти нормативы лишь в качестве ориентировочных решений, допуская известные отклонения от этих показателей. Тем не менее, обобщение многолетнего опыта ряда проектных организаций позволяет определить средние (предпочтительные) сроки обеспеченности предприятий сырьем в зависимости от величины их годовой производительности. Мощность рудников обычно тесно увязывается с производительностью обогатительных фабрик и является величиной, кратной последней. Однако сроки существования карьеров для открытой добычи руды и рудников с подземной добычей ее, в связи с различной капиталоемкостью горного производства при разных способах отработки несколько отличаются между собой. Это обстоятельство также приходится учитывать при группировке месторождений по запасам руды. Такая группировка была разработана в

ЦНИГРИ П.Л. Каллистовым для медно-колчеданных месторождений и использована нами почти без изменения для геолого-экономической оценки золоторудных и золото-серебряных месторождений на ранних стадиях их изучения (табл. 91).

Для учета влияния географо-экономических условий освоения на результирующие параметры оценки в ЦНИГРИ было предложено геолого-экономическое районирование золотоносных территорий бывшего СССР.

В качестве главного критерия при выделении самостоятельных районов использована величина полной себестоимости 1 т руды на однотипных месторождениях, которая в пределах данной территории должна оставаться постоянной.

Полная себестоимость 1 т руды в Центральном районе служит экономическим базисом. Районные коэффициенты для корректировки параметров кондиций определяются как отношение полной себестоимости 1 т руды в данном районе к ее величине в Центральном районе. Поскольку влияние географо-экономических условий на объем капиталовложений в освоении месторождений не всегда совпадает с их ролью в изменчивости себестоимости руды для корректировки капитальных затрат по аналогичной методике рассчитываются значения поправок.

Ускоренная геолого-экономическая оценка месторождений применяется, главным образом, для установления промышленной значимости слабо изученных объектов, когда ориентировочные значения основных параметров оценки по точности определения адекватны характеристикам запасов и прогнозных ресурсов, которые являются исходными данными для расчетов.

Описываемые ниже ускоренные методы с успехом можно использовать также при любой степени изученности объектов для сопоставления результатов многовариантной оценки, когда сравниваются различные способы отработки месторождения и (или) технологические схемы переработки руд, возможные производительности предприятий и характеристики запасов (вместе с прогнозными ресурсами).

Простота и практически неограниченная многовариантность определения результатов оценки обуславливается применением установленных В.В. Стефановичем зависимостей небольшого числа основных параметров оценки от запасов руды и производительности предприятия.

Главными параметрами геолого-экономической оценки месторождений принято считать минимальное промышленное содержание металла (C_{min}) и объем капиталовложений в освоение месторождения (К).

Зависимости этих параметров от запасов руды, как нам удалось установить, можно описать уравнениями показательной функции, которые в логарифмических координатах выражаются прямолинейными графиками.

$C_{min} = a \cdot Q^{-\alpha}$ и $K = bQ^{\beta}$, где Q — запасы руды, т; a, b, α, β — коэффициенты, постоянные для данного месторождения.

Эти зависимости рекомендуется использовать для приближенных вычислений и сравнительных оценок. Для более детальных и относительно более точных определений рекомендуется применять зависимости экономических показателей от годовой производительности (А) предприятия, которые тоже имеют вид логарифмически-линейных графиков.

Так, себестоимость добычи ($З_д$), переработки ($З_п$) и полной себестоимости 1 т руды ($\Sigma_з$) описываются однотипными уравнениями:

$$З_д = \frac{a_1}{A^{\alpha_1}}; \; З_п = \frac{a_2}{A^{\alpha_2}}; \; \Sigma_з = \frac{a_0}{A^{\alpha_0}}.$$

Небезынтересно заметить, что подобные этим зависимостям, которые установлены нами еще в 1974 г, в последние годы рекомендуются и Горным Бюро США в "Укрупненных моделях затрат при предварительной оценке полезных ископаемых". Но

там в качестве аргумента фигурирует не годовая, а дневная производительность предприятия.

Разработаны графический и аналитический методы ускоренной геолого-экономической оценки золоторудных месторождений.

В основу графического метода положены зависимости C_{min} и К от запасов руды. Реализуется он с помощью номограмм.

Таблица 91

Группировка месторождений по запасам руды

Запасы руды, млн. т			Годовая производительность, тыс. т	
Интервалы значений	Средние значения		Интервалы значений	Средние значения
	открытые работы	подземные работы		
1-3	1,3	1,6	100-250	165
3-8	4,0	4,6	250-500	330
8-16	9,9	11,9	500-800	660
16-40	18,0	22,0	800-1500	1000
40-100	42,0	-	1500-3000	2000
100-200	150,0	-	3000-8000	5000

Общий вид номограммы для оценки золоторудных месторождений, отрабатываемых подземным способом, показаны на рис. 57. Подобные номограммы были использованы для оценки прогнозных ресурсов коренного золота в масштабе бывшего СССР.

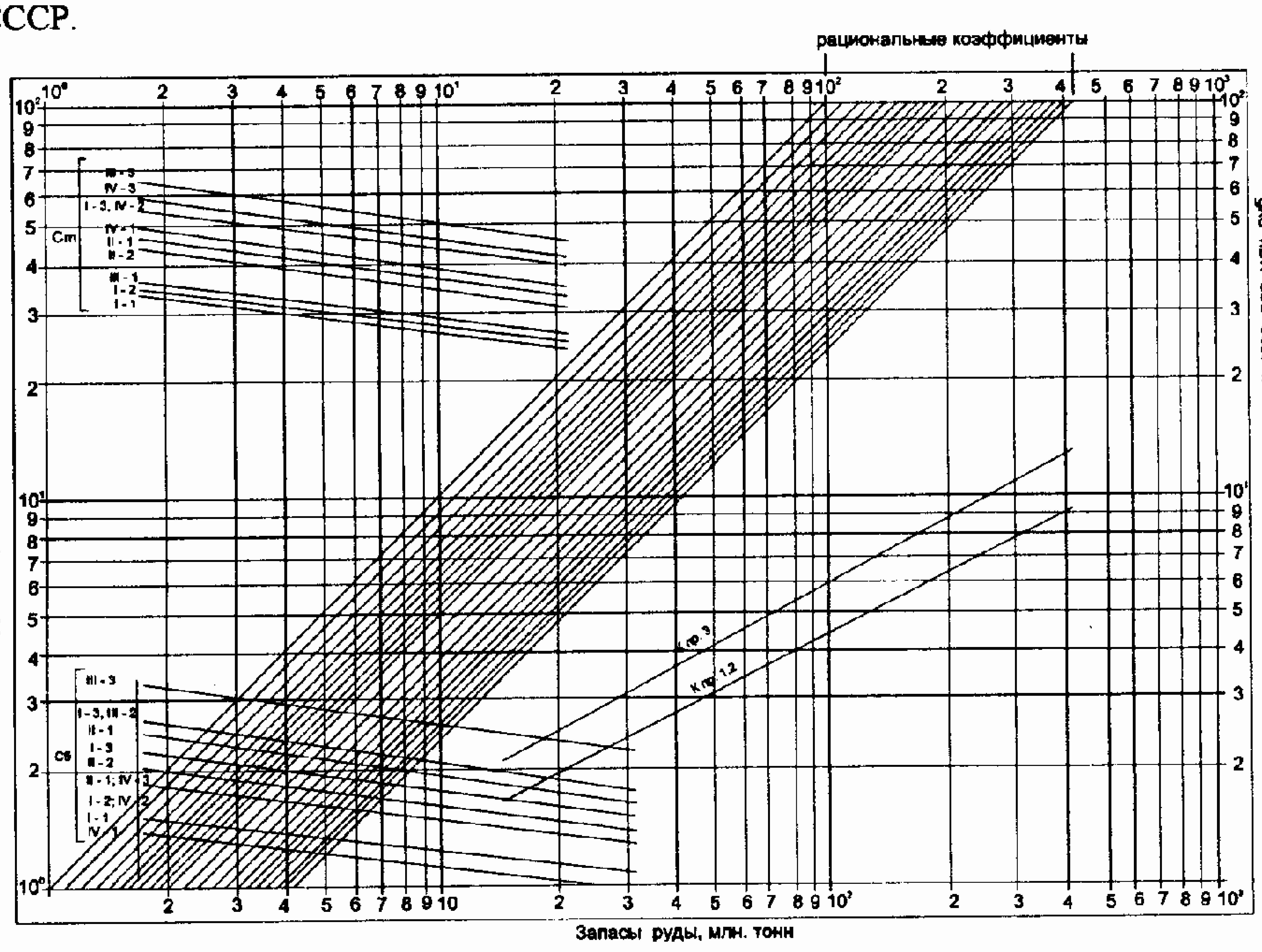


Рис. 57. Общий вид номограммы для экспрессной оценки золоторудных месторождений, отрабатываемых подземным способом (по В.В. Стефановичу).

Сущность номограммы и порядок использования ее показаны на схеме (рис. 58) и разъясняются с помощью отвлеченного примера.

На горизонтальных и вертикальных ограничениях ее нанесены логарифмические шкалы с одинаковым модулем. Поэтому как исходные данные, так и промежуточные, и конечные результаты графических определений можно считывать на любом из этих ограничений (шкал). На горизонтальной оси (шкале) откладываются исходные данные — запасы руды в млн. т. На вертикальных осях (слева) показаны лимиты кондиций — C_{min} (или C_m) и $C_б$ (бортовое содержание) в г/т, а также объем капиталовложений в освоение месторождения в млн. руб.

Таблица 91 (продолжение)

Обеспеченность рудника запасами, лет			
Открытые работы		Подземные работы	
интервалы значений	средние значения	интервалы значений	средние значения
7-10	8	8-12	10
10-14	12	12-16	14
14-16	15	16-20	18
16-20	18	20-24	22
20-22	21	-	-
22-35	30	-	-

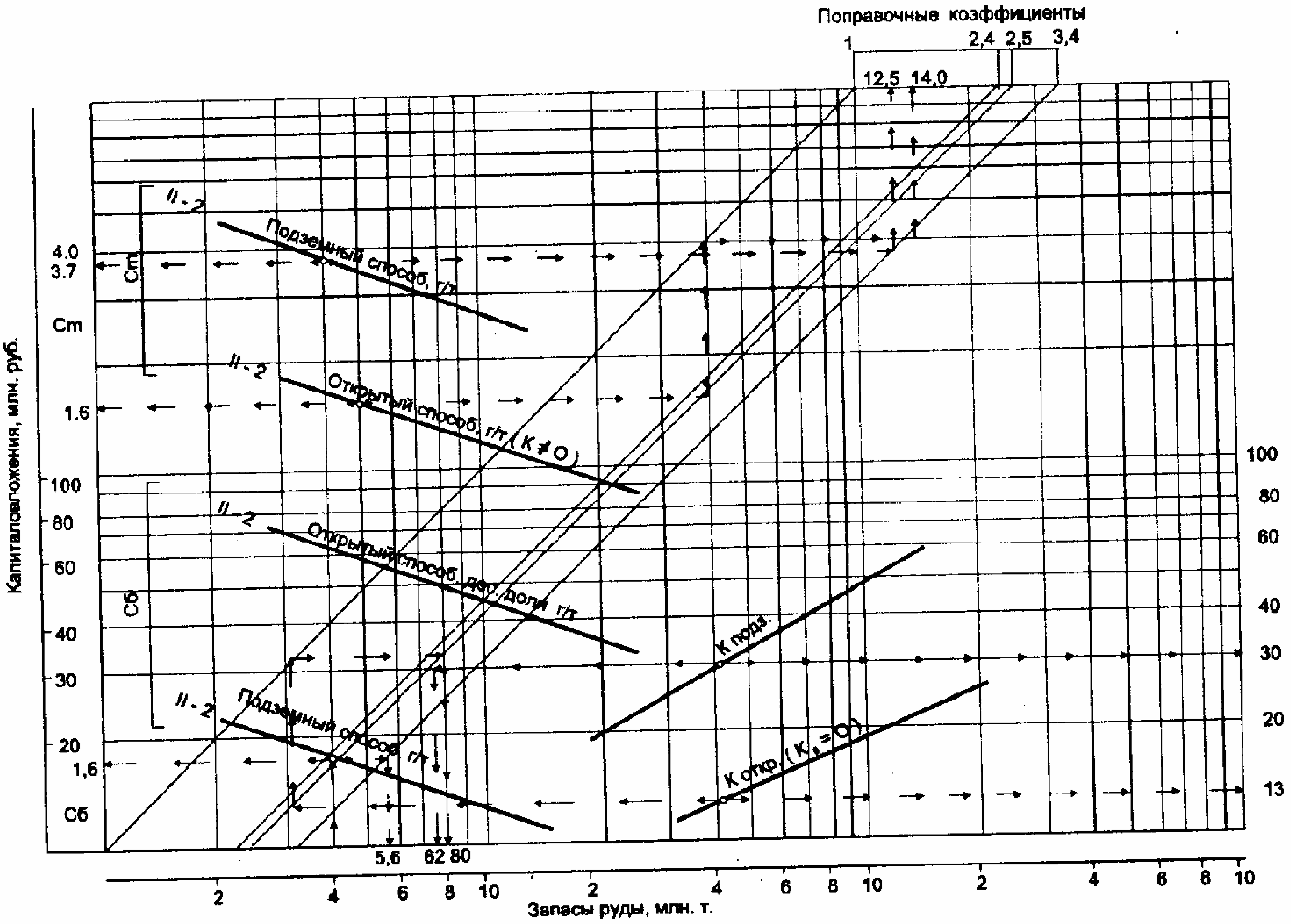


Рис. 58. Схема для графического определения по номограмме значений C_m, $C_б$ и К (по В.В. Стефановичу).

Диагональные линии, проходящие под углом в 45° к горизонтали, предназначены для ввода поправок (или коэффициентов) в промежуточные результаты определений. Для удобства значения поправок (коэффициентов) вынесены на внешнюю планку над верхним ограничением номограммы (1; 2,4; 2,5 и т.д.). Порядок пользования номограммой поясняется линиями со стрелками, которые показывают последователь-

ность проведения операций по безрасчетному графическому определению параметров (C_m, $C_б$, К).

Можно проследить эти операции на конкретном примере.

Месторождение представлено жилами с углами падения 60–80° и средней мощностью 4,0–4,5 м (в среднем 4,5 м), залегающими на глубине в среднем 25 м. Рудные тела сложены существенно сульфидными рудами с самородным и связанным с сульфидами золотом. Вредных примесей нет. Запасы руды составляют 4 млн. т со средним содержанием золота в них — 13 г/т. Месторождение расположено в районе с поправочными коэффициентами 3,4 для эксплуатационных расходов и C_m и 2,5 — для капиталовложений. Согласно таблице 89, по морфологической характеристике и условиям залегания рудных тел месторождение следует отнести ко II типу; по минералогическому и вещественному составу, согласно таблице 90, тоже ко второму типу. Это сочетание типов на номограмме обозначено II-2.

Находим внизу горизонтальной оси значение 4, соответствующее запасам руды и от него прослеживаем вверх вертикаль до пересечения с графиком зависимости C_m от запасов руды при подземном способе отработки. Двигаясь влево от точки пересечения, на вертикальной оси находим значение 3,7, которое представляет собой Cm для базового района (Центрального). Для того, чтобы внести поправку на географо-экономические условия района месторождения, прослеживаем горизонтальную линию от точки пересечения с графиком зависимости до диагонали поправок со значением 3,4. От пересечения с нею прослеживаем вертикаль вверх до горизонтального ограничения номограммы и находим значение C_m = 12,5 г/т, соответствующее минимальному промышленному содержанию для оцениваемого месторождения, расположенного в рассматриваемом районе. Сравниваем его со средним содержанием по месторождению и убеждаемся, что месторождение отвечает кондициям и, следовательно, может быть рентабельно отработано подземным способом.

Проверяем возможность эксплуатации открытым способом. Ориентировочный коэффициент вскрыши в нашем случае будет равен отношению мощностей вскрышных пород и рудных тел, т.е. $K_в^1 = \frac{25{,}0}{4{,}5} = 5{,}6$ г/т, что с поправкой на размерность (за счет объемного веса пород, равного 2,6), составит: $K_в = \frac{5{,}6}{2{,}6} = 2{,}15$ м³/т.

По нашим данным, поправка к C_m за счет вскрыши будет составлять 2,5. Чтобы ее учесть, прослеживаем горизонталь от точки пересечения с графиком зависимости C_m при открытом способе отработки до диагонали поправок 2,5. Спускаясь вниз (или поднимаясь вверх) по вертикали, можем определить значение Cm для базового района (равное 4,0 г/т). Но эту промежуточную величину можно не искать, а ввести сразу же вторую поправку на районный коэффициент (3,4). Для этого от точки пересечения горизонтали с диагональю поправок (2,5) двигаемся влево до диагонали со значением 1 (т.е. до ограничения зоны поправок, аналогичном началу шкалы на логарифмической линейке), а от пересечения с нею прослеживаем горизонталь до диагонали со значением 3,4. Вертикаль от этого пересечения на верхнем ограничении номограммы позволяет найти окончательное значение C_m = 14,0 г/т при открытом способе отработки в данном районе. Поскольку среднее содержание по месторождению меньше C_m, отработка его открытым способом будет нерентабельна.

Объем капиталовложений в освоение месторождения определяется графически с учетом группировки месторождений по запасам руды (табл. 91). Следует однако иметь в виду, что для удобства использования номограммы исходные данные о запасах руды на горизонтальной оси отложены в следующем модуле (интервале от 1 до 10). Необхо-

димо заметить, что при операциях на номограмме порядок цифр определяется так же, как на логарифмической линейке.

От цифры 4,0 на горизонтали проводим вертикаль до пересечения с линейным графиком зависимости капвложений от запасов и находим объемы их для базового района при отсутствии вскрыши для открытого (13 млн. руб.) и подземного способов (30 млн. руб.) на вертикальной шкале (слева или справа). Затем вводим поправку на районный коэффициент, прослеживая горизонталь до диагонали 2,5 и находим на горизонтальной шкале значение 72 млн. руб. Применительно к подземному способу.

Для открытого способа первоначальный объем капвложений (13 млн. руб. — при отсутствии вскрыши) сначала корректируем на $К_{вскр.}$, а затем уже на районный коэффициент и получаем окончательный результат на горизонтальной шкале, равный 80 млн. руб. Эти цифры соответствовали экономическим условиям страны в 1981 г. По состоянию на 1995 г объем капиталовложений составит примерно 163 млрд. руб. При подземном способе отработки и 181 млрд. руб. — при открытом.

Аналитический метод ускоренной оценки базируется на описанных выше зависимостях стоимостных показателей от годовой производительности предприятия и позволяет несколько более полно учесть геологические особенности и специфику освоения месторождений.

Для этой цели составляется типовая модель месторождения, характеризующаяся нормализованными условиями его освоения.

Под нормализованными условиями понимается:

- однотипные горно-геологические условия месторождения: при открытом способе разработки предполагается отсутствие горно-капитальной вскрыши, а при подземном — комбинированное вскрытие (шахтами и штольнями) рудных тел с крутым падением (50°);

- легко обогатимые руды;

-единые географо-экономические условия;

Отклонение каких-либо особенностей конкретного месторождения или условий его освоения от нормализованных учитываются с помощью поправочных коэффициентов. Таким способом учитываются влияние объема вскрыши (при открытом способе разработки), системы вскрытия и угла падения рудных тел (при подземном способе) на себестоимость добычи 1 т руды; обогатимости руд на себестоимость переработки и т.д.

Так, для определения аналитическим путем минимального промышленного содержания Е.В. Блиновой предложены следующие формулы:

а) для открытого способа разработки[1]:

$$C_{min} = \frac{1{,}2\{[\frac{6{,}6(1+0{,}4\gamma \times K_b}{A_p^{0{,}23}} + \frac{21K_3}{A_ф^{0{,}18}}]K_4 + З_m K_5\}}{Ц \times И \times (1-\rho)}, \text{ где:}$$

γ — объемный вес вскрышных пород;

K_b — коэффициент вскрыши;

A_p — годовая производительность рудника;

K_3 — удорожающий коэффициент к себестоимости обогащения, составляющий для золото-серебряных руд 1,3, а для упорных ≈ 1,8 ÷ 2,0;

$A_ф$ — годовая производительность фабрики;

K_4 — районный коэффициент, учитывающий географо-экономические особенности района;

$З_m$ — стоимость транспортировки руды от рудника до обогатительной фабрики;

[1] Числовые коэффициенты в формулах для Cmin отвечают экономическим условиям 1981 г.

K_5 — коэффициент, учитывающий отклонения тарифа на перевозку от нормализованных условий;

Ц — цена золота;

И — степень сквозного извлечения золота из руды;

ρ — степень разубоживания руды при добыче.

б) для подземного способа разработки[2]:

$$C_{min} = \frac{1{,}2[(\frac{74K_1 \times K_2}{A_p^{0{,}34}} + \frac{21K_3}{A_ф^{0{,}18}})K_4 + 3_m K_5]}{Ц \times И \times (1-\rho)}$$

Аналогичные формулы разработаны для оценки месторождений флюсовых руд, но здесь они не приводятся.

Следует заметить, что аналитический способ расчета C_{min} является универсальным. Он применим и в тех случаях, когда на месторождении намечается индивидуальная обогатительная фабрика, и тогда, когда руды его перерабатываются на районной фабрике, обслуживающей несколько месторождений.

Предлагаемые формулы позволяют также учесть влияние расстояния транспортировки руды на ее себестоимость, что нередко играет значительную роль, главным образом, при оценке месторождений, отрабатываемых открытым способом.

Но все эти варианты следует учитывать лишь при оценке месторождений, степень изученности которых отвечает требованиям предварительной разведки.

В условиях рыночной экономики представляется, что оценка по результатам поисковых работ должна осуществляться по двухуровневой (или более) системе. Один уровень характеризуется большей детальностью изучения и должен реализовываться на участке первоочередного освоения месторождения (т.н. "Первоочередной участок"). Второй (и, возможно, последующие) предопределяет менее детальное изучение и распространяется на всю остальную часть месторождения (или последовательные его части). При таком подходе "Первоочередной участок" по степени разведанности будет отвечать предварительной разведке, а остальная часть месторождения — поисково-оценочной стадии.

Для правильной оценки промышленного значения объекта в целом очевидно необходимо на "Первоочередном участке" выявить общие особенности месторождения, закономерности в локализации оруденения и зависимости основных характеристик его от тех или иных ограничивающих условий; обосновать возможность и целесообразность распространения результатов разведки на остальную (большую) часть рудоносной площади.

Реализация последовательного подхода возможна благодаря выявленным автором однотипным зависимостям основных характеристик месторождений и большинства зависящих от них технико-экономических показателей освоения от лимитов кондиций и других ограничивающих условий.

Эти зависимости имеют экспоненциальный характер и в соответствующих координатах выражаются простыми прямолинейными графиками.

Правомерность распространения основных зависимостей, выявленных в пределах Первоочередного участка, на весь объем месторождения определяется наличием на большинстве исследованных объектов четко выраженного скейлинга (разномасштабного самоподобия) свойств. Так, например, на золоторудном месторождении Макмал зависимость среднего содержания в руде от бортового лимита, как в масштабах всего объекта, так и в отдельных рудных телах, описывается субпараллельными прямолинейными графиками. На Васильковском месторождении такая же

[2] Числовые коэффициенты в формулах для Cmin отвечают экономическим условиям 1981 г.

картина наблюдается уже на трех уровнях: на участках открытых и подземных работ, по отдельным рудным зонам и по месторождению в целом.

Описанные новые закономерности позволяют разработать весьма простые номограммы для определения основных технико-экономических параметров оценки месторождения по аналогии с Первоочередным участком. В качестве примера ниже показана номограмма для определения полной себестоимости 1 т руды ($\Sigma_з$), при построении которой использованы экспоненциальные зависимости запасов руды и $\Sigma_з$ от бортового содержания, а также скейлинг, проявляющийся в этих закономерностях.

На Первоочередном участке одного из золоторудных месторождений запасы руды были подсчитаны по трем вариантам бортового лимита (I, II, III). По результатам подсчета был построен график зависимости запасов руды (Q) от $C_б$ (рис. 59). Перспективы месторождения в целом при борте II были оценены в количестве $Q_о$. В ТЭО кондиций для трех вариантов запасов были рассчитаны значения полной себестоимости 1 т руды и также построен соответствующий график. Наличие скейлинга позволяет построить график зависимости $Q_о = F(C_б)$ для месторождения в целом (параллельный таковому для Первоочередного участка) и определить ожидаемые запасы руды всего месторождения для двух других вариантов $C_б$.

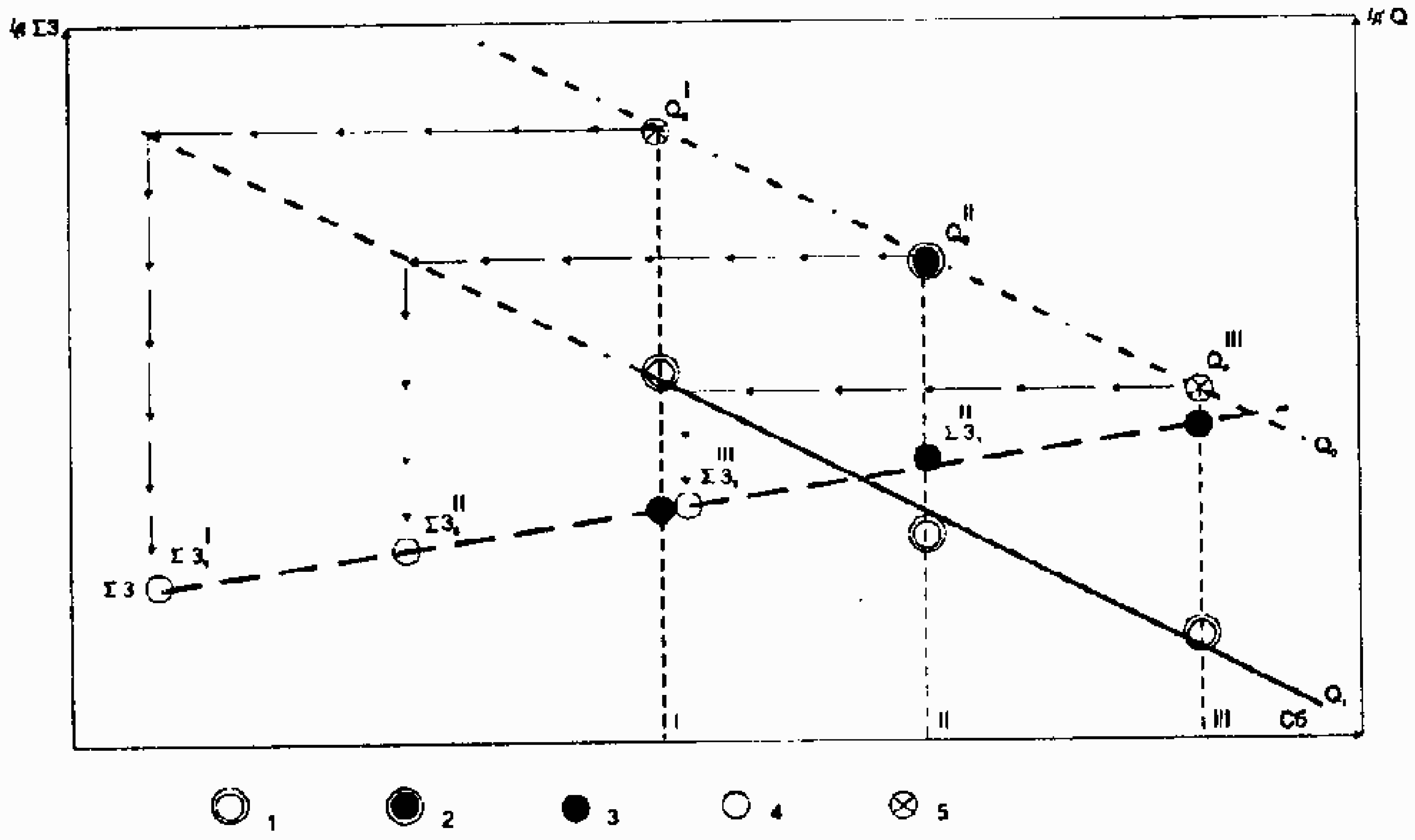


Рис. 59. Номограмма для определения основных характеристик золоторудного месторождения и показателей его освоения по данным кондиций для Первоочередного участка (по В.В. Стефановичу).

1 - значения запасов руды Первоочередного участка, соответствующие опорным вариантам бортового содержания металла; 2 - перспективы месторождения (запасов руды) при варианте II бортового лимита; 3 - значения полной себестоимости 1 т руды на Первоочередном участке, соответствующие опорным вариантам борта; 4 - определенные графическим путем значения полной себестоимости 1 т руды по вариантам $C_б$ при освоении месторождения (в целом); 5 - определенные графическим путем запасы руды месторождения (в целом) при различных вариантах $C_б$

Прямолинейный характер зависимостей позволяет с достаточной надежностью экстраполировать их за пределы трех опорных вариантов.

Поскольку ожидаемые запасы месторождения в целом значительно превышают запасы Первоочередного участка, следует ожидать улучшения экономических показателей его освоения.

На номограмме (рис. 59) показаны графики зависимостей запасов руды месторождения ($Q_о$) и полной себестоимости 1 т руды ($\Sigma_з$) от бортового содержания металла ($C_б$), а также последовательность определения графическим путем тех значений $\Sigma_з$, которые отвечают различным вариантам $C_б$ и могут быть достигнуты при эксплуатации всего месторождения.

Для Первоочередного участка оптимальным оказался II вариант бортового лимита. При освоении месторождения в целом полная себестоимость 1 т руды для этого варианта окажется ниже, т.е. $\Sigma 3_0^{II} < \Sigma_1^{II}$ (за счет увеличения масштабов производства), что хорошо видно на рисунке. Поскольку C_{min} пропорционально Σ3, то минимальное промышленное содержание для подсчета запасов всего месторождения (в целом) будет ниже, чем рассчитанное для Первоочередного участка. Проследив путь графического

определения показателей, показанный стрелками, можно найти Σ3 и для любых других вариантов. Таким образом, с помощью таких номограмм можно в экспрессном порядке (на основе данных по Первоочередному участку) графически определить ожидаемые запасы по месторождению, полную себестоимость 1 т руды, C_{min} и другие показатели для множества вариантов бортового лимита, а также установить тот из них, который обеспечит максимальный эффект при освоении месторождения.

VII. Проблемы промышленной геологии золота

Уровень развития общества, его материальной культуры и технологий оказывает сильнейшее влияние на развитие рудной геологии, в том числе и промышленной геологии золота. Тысячелетия интерес человека к золоту реализовывался через самые простые для понимания и технологического освоения источники — простейшие россыпи, жилы со свободным золотом, поверхностные окисленные руды. Главным способом переработки золотосодержащего сырья был естественно-природный — промывка водой (гравитационный). В начале первого тысячелетия н.э. стала применяться амальгамация. Недоступными для человека были все формы т.н. связанного золота (тонкое золото, золото в сульфидах и др.). Открытие соединений золота с цианид-ионом, т.е. создание процесса цианирования открыло новую страницу промышленной геологии золота. В сферу золотодобычи были вовлечены новые типы месторождений с тонким золотом, огарки сернокислотного производства и др. Крупнейшим результатом применения цианистого процесса является развитие технологии кучного (и чанового) выщелачивания на убогих рудах, что дало человечеству тысячи тонн металла.

Нетрудно понять, что создание эффективных биогидрометаллургических технологий в первых десятилетиях XXI века откроет новую эру в развитии промышленной геологии золота. Источником золота, практически неисчерпаемым, станет мировой океан и термальные системы Земли, породы с повышенным кларком. Прогноз в более далекое будущее (XXII в.) не дает промышленной геологии золота шансов выжить — извлечение металлов из пород при использовании термоядерных источников энергии (прогноз академика Александрова) и далее — на основе управляемых ядерных превращений станет основным промышленным процессом.

Это — в будущем далеком, а сегодня в промышленной геологии золота остаются актуальными многие проблемы.

I. Проблема новых типов золотой минерализации.

На основе анализа поведения золота в природных системах могут быть названы новые типы концентраций золота, сегодня неизвестные науке и практике.

1. Золото-платина-палладиевый в связи со щелочными породами — ультраосновными — щелочными, нефелиновыми сиенитами. Золото, платина и палладий в самородной форме и интерметаллидах связаны с фенитами (флюоритсодержащими, графитсодержащими, сульфат-силикатными).

2. Золото-платина-графититовый в ультраосновных расслоенных массивах (вне зоны сульфидов, хромитов, титаномагнетитов).

3. Золото-платина-алмазный (графитовый) в метаморфитах высоких фаций осевых частей глубинных разломов.

4. Золото-углеродистый в иловых (аргиллитовых) фациях солеродных бассейнов (соленосных толщ).

5. Золото-металлоорганический в иловых — аргиллитовых толщах современных прогибов с сапропелевым типом осадков.

6. Золотой в периферических частях урановых ролловых (гидрогенных) месторождений.

II. Проблема изучения условий образования золоторудных месторождений.

1. Термобарохимические условия.

2. Поведение изотопов элементов в эволюционном ряду минерализации.

3. Эволюция свойств "сквозных" минералов (золото, пирит, арсенопирит, кварц, карбонаты и др.) в процессе формирования объектов.

III. Проблема количественного моделирования золоторудных полей и месторождений (для целей глубинного прогноза и оценки).

Моделирование стало модным направлением научных исследований начиная с 80-х годов нашего столетия. На первых порах надежда на "умные" машины как-то ослабила остроту вопроса количественного описания среды рудообразования, структуры рудолокализации и зональности минеральных, геохимических и других вещественных компонентов руд и околорудных ореолов. Однако, очень скоро стало ясным, что ЭВМ — инструмент, а не методология моделирования. Наибольшее продвижение к цели следует отметить в сфере описания и обработки количественных признаков зональности (содержания элементов, температуры образования и т.п.). В качестве примера можно привести систему "ELAN" В.Л. Лося. Геометрическое описание структуры рудолокализации, хотя и непростая, но реальная процедура. Наиболее сложные задачи возникают при количественном описании Среды — ее состава, однородности, влияния на развитие структуры рудолокализации, на интенсивность и экстенсивность отложения рудного вещества. В общем виде математическим аппаратом этих технологий, видимо, может быть тензорное исчисление.

IV. Проблема сохранения, обработки и свертывания первичной информации, накапливающейся при отработке крупнейших месторождений.

В мире известен десяток гигантских месторождений, глубина отработки на большинстве которых достигла 2-3 км. За редким исключением полное описание таких объектов отсутствует. Для человечества эта информация потеряна, а значит потеряна и возможность учета мирового опыта изучения уникальных месторождений. Настало время представить мировому сообществу через ООН проект выпуска серии монографий "Уникальные месторождения Мира". Список таких месторождений требует уточнения.

V. Проблема анализа культуры золота находится в тесной связи с проблемами рудной геологии и включает все ее аспекты — от накопления золота, его использования человечеством за весь период развития до создания произведений искусства.

Этим перечнем не исчерпывается, конечно, список проблем. Бесконечное разнообразие природы и человеческого общества определяет разнообразие подходов к изучению геологии золота.

Литература

Абишев В.М., Баханова Е.В., Зорин Ю.М., Мукатаев К., Левин Г.Б., Нарсеев В.А., Шурунов М.В. Геология, вещественный состав и геохимические особенности Васильковского золоторудного месторождения // Геология, геохимия и минералогия золоторудных районов и месторождений Казахстана. Алма-Ата: КазИМС, 1978. Вып. 2, С.3-23

Аникин А.В. Золото. М.: Международные отношения, 1984, 270 с.

Анопшин Г.Н. Золото в магматических горных породах. Новосибирск: Наука, 1977. 206 с.

Археология СССР с древнейших времен до наших дней. Том: Древнейшие государства Кавказа и Средней Азии. М.: Наука, 1985. 494 с.

Бадалов С.Т. Геохимические особенности рудообразующих систем. Ташкент: ФАН, 1991. 141 с.

Балейское рудное поле (Под ред. Н.В. Петровской) М.: Недра, 1983. 621 с.

Баханова Е.В., Нарсеев В.А. Некоторые физико-химические особенности формирования золоторудных месторождений Казахстана // Геология, геохимия и минералогия золоторудных районов и месторождений Казахстана. Алма-Ата: КазИМС, 1974. Вып. 4, С.10-18

Берман Ю.С. Прямые индикаторы низкотемпературного золото-серебряного оруденения // Колыма. 1965. №4. С.12-21

Бетман А.И. Промышленные минеральные месторождения. М.: ИЛ, 1949. 510 с.

Боголепов В.Г. Методическое пособие по оценке глубоких горизонтов и флангов золоторудных месторождений (на основании изучения метасоматитов). Тула: ТулНИГП, 1995. 80 с.

Боркош М. Температуры образования рудных месторождений Теликбаньи // РЖ Геология, 1969. реф. 81073.

Брусницын Л.И. История Березовского завода // Горный журнал. 1864. №5. С.279-382

Буряк В.А. Роль вулканогенно-осадочного и гидротермально-осадочного минералообразования в формировании золотого оруденения черносланцевых ("углистых") толщ // Докл. АН СССР. 1976. Т.226, №4. С. 907-910

Буряков Ю.Ф. Горное дело и металлургия средневекового Илака. Ташкент: ФАН, 1974. 220 с.

Великий А.С. Структуры рудных полей. Л.: Лен. Гос. ун-т, 1961. 270 с.

Вернадский В.И. Избранные труды, т. I-V, М.: Изд-во АН СССР 1954-1960.

Вольфсон Ф.И. О первичной зональности в гидротермальных месторождениях // Зап. ВМО, 1955. Ч. 84, Вып. 3, С.10-21

Вопросы изучения и методы поисков скрытого оруденения. М.: Наука, 1963. 340 с.

Ганеев И.Г., Покалов В.Т. Температурный градиент — фактор дифференциации гидротермальных растворов, зональности и вертикальной протяженности вольфрамит-молибденит-кварцевых жил // Докл. АН СССР. 1975. Т. 220, №3, С.410-412

Геологические исследования в золотоносных областях Сибири. Енисейский золотоносный район, Выпуск I-XI, Петроград: 1912.

Геологические исследования в золотоносных областях Сибири. Ленский золотоносный район, Выпуск I-XI, Петроград: 1915.

Геологические исследования в золотоносных областях Сибири. Амурско-Приморский золотоносный район, Выпуск I-XI, Петроград: 1915.

Геология и минеральные ресурсы Японии. М.: ИЛ, 1967. 185 с.

Гушка Д., Манимич В., Степол В. Месторождение Бая-Спрconfig (район Бая-Маре). М.: ВИНИТИ, 1964. №11. С.1127

Данилевский В.В. Русское золото. М.: Металлургиздат, 1959. 380 с.

Дмитриев Л.К., Ляхов Ю.В. Характер изменчивости температурных условий формирования Дарасунского месторождения во времени и пространстве // Геология и раз-

ведка месторождений полезных ископаемых Забайкалья. Чита: ЗабНИИ, 1968. С.27-36

Золотая промышленность Колымы в 1994 г. // Колыма. 1995. №6. С.5-12

Зональность гидротермальных рудных месторождений т.I и II, М.: Наука, 1974. 458 с., 502 с.

Иванкин П.Ф. Морфология глубоковскрытых магматогенных рудных полей. М.: Недра, 1970. 288 с.

Иванов А.А., Переляев А.П. Минералы группы золота // Минералогия Урала. Свердловск: 1941. Т.II. С.10-27

Клепиков В.Н. Крупнейшие самородки золота из аллювиальных россыпей Северо-Востока (основные сведения) // Колыма. 1992 а. № 10-11. С.14-20

Клепиков В.Н. Крупнейшие самородки золота из аллювиальных россыпей Северо-Востока (периоды обнаружения, типоморфные признаки, положение в россыпях и структурах) // Колыма. 1992 б. № 12. С.8-12

Князев Г.И. Зональность золото-серебряных месторождений Прикарпатья // Проблемы постмагматического рудообразования. 1963. Т. 1. С.386-388

Коробейников А.Ф. Распределение золота в породах различных фаз габброидных и гранитоидных интрузий // Геохимия. 1983. №5. С.739-751

Коробейников А.Ф. Распределение золота в продуктах дифференциации основных и кислых магм различных геологических эпох // Геохимия. 1986. №3. С.328-338

Коробейников А.Ф. Поведение золота в магматических и метасоматических процессах // Сов. геология. 1988а. №12. С.31-40

Коробейников А.Ф. Золото в вулканогенных породах разного состава и возраста // Геохимия. 1988б. №11. С.1618-1626

Коробейников А.Ф. Распределение золота в рудоносной черносланцевой толще карбона // Геохимические критерии прогнозной оценки оруденения. Новосибирск: Наука, 1990. С.97-104

Коробейников А.Ф., Кулаковский А.Л., Перцев Н.Н. Фоновое распределение золота в горных породах и железных рудах Таежного месторождения (Центральный Алдан) // Геохимия. 1988. №4. С.518-525

Коробейников А.Ф., Нарсеев В.А., Пшеничкин А.Я. Пириты золоторудных месторождений. Л.: 1993. 520 с.

Королев А.В. Зависимость зональности оруденения от последовательности развития структур рудных месторождений // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1949. №1. С.5-15

Королев А.В., Шехтман П.А. Структурные условия размещения послемагматических руд. М.: Недра, 1955. 364 с.

Крейтер В.М. Структуры рудных полей и месторождений. М.: 1956. 285 с.

Куббель Л.Е. Страна золота. М.: Наука, 1966. 142 с.

Кутина Я., Парк Ч.Ф. мл., Смирнов В.И. К понятию зональности и к соотношениям между зональностью и парагенезисом // Проблемы постмагматического рудообразования. Прага: 1965. Т. 2. С.10-15

Левин Г.Б., Лось В.Л., Нарсеев В.А. Структура распределения содержаний полезного компонента, уровни минерализации и рудные столбы // Проблемы образования рудных столбов. Новосибирск: Наука, 1969. С.121-128

Левин Г.Б., Нарсеев В.А. К определению понятий "рудный столб". Томск: 1970. Тр. Томского ПТИ. С.15-23

Летников Ф.А. Изобарные потенциалы образования минералов и применение их в геохимии. М.: Недра, 1965. 146 с.

Летников Ф.А., Нарсеев В.А. Термостатирование природных систем и его роль в геологических процессах // Физико-химическая динамика процессов магматизма и рудообразования. Новосибирск: Наука, 1971. С.42-54

Линдгрен В. Минеральные месторождения. М.: ИЛ, 1948. 650 с.

Лобач В.И. Способ выявления структурно-детерминированной изменчивости в рудных месторождениях. М.: ЦНТИ ВИЭМС, 1988. 58 с.

Лобач В.И. Изучение концентрационной неоднородности как одного из направлений совершенствования методологии разведки рудных месторождений. М.: ЦНИГРИ, 1988. 36 с.

Лобач В.И., Иванов В.Н. Способ выявления структуры концентрационной неоднородности рудных месторождений. М.: ЦНТИ МГ СССР, 1986. 20 с.
Ломоносов М.В. О слоях земных. М.: АН СССР, 1957. 231 с.
Лось В.Л. Методологические основы моделирования и количественного прогноза рудных месторождений. Новосибирск: Наука, 1994. 72 с.
Ляхов Ю.В. О горизонтальной и вертикальной температурной зональности в пределах Балейского рудного поля (Восточное Забайкалье) // Минеральная термометрия и барометрия. М.: 1968. Т. I. С.128-140
Максимов М.М. Русскому золоту 250 лет. М.: Недра, 1971. 112 с.
Максимов М.М. Очерк о золоте. М.: Недра, 1977. 127 с.
Малышев В.М., Румянцев Д.В. Золото. М.: Металлургия, 1979. 289 с.
Маракушев А.А. Периодическая система экстремальных состояний химических элементов. М.: Наука, 1987. 206 с.
Марфунин А.С. История золота. М.: Наука, 1987. 245 с.
Матвеенко В.Н. О типоморфизме золота месторождений различных формаций (по результатам применения пирощелочного метода вскрытия) // Геология Казахстана. 1994. №6. С.12-26
Методическое руководство по оценке месторождений золота и олова на основе минералого-физического метода. Чита: ЗабНИИ, 1987. 120 с.
Миронов А.Г., Альмухамедов А.И., Гелетий В.Ф., Глюк В.С., Жантуев Н.С., Жмодин С.М., Конников Э.Г., Медведев А.Я., Плюснин А.А. Экспериментальное исследование геохимии золота с помощью метода радиоактивных индикаторов. Новосибирск: Наука, 1989. 281 с.
Моисеенко В.Г. Метаморфизм золота месторождений Приамурья. Хабаровск: Хабаровское книжное изд., 1965. 310 с.
Найденов В.М., Нарсеев В.А., Полывянный И.Я. Некоторые особенности формирования золоторудных месторождений по данным изотопии аргона газово-жидких включений в кварце // 5 Всесоюзный симпозиум по геохимии стабильных изотопов: Тез. докл. М.: ГЕОХИ, 1974. С.12-14
Нарсеев В.А. Об эндогенной зональности золоторудных месторождений Казахстана // Материалы по методике разведки и оценки месторождений твердых полезных ископаемых. Алма-Ата: КазИМС, 1967. С.30-36
Нарсеев В.А. Общая схема зональности золоторудных месторождений Калбы // Вопросы геологии и методики разведки месторождений твердых полезных ископаемых Казахстана. Алма-Ата: КазИМС, 1968а. С.48-52
Нарсеев В.А. Графический способ количественного выражения распределения и зональности свойств геологических тел в пространстве // Вопросы геологии, геохимии и минералогии золоторудных полей и месторождений Казахстана. Алма-Ата: КазИМС, 1968б. Вып I, С.24-30
Нарсеев В.А. Распределение золота в рудах месторождений Казахстана и его физико-химическая интерпретация // Математические методы в геологии. Алма-Ата: Каз. ГУ, 1968в. Вып. I, С.12-18
Нарсеев В.А. О соотношении эндогенной зональности и вертикального размаха оруденения в золоторудных месторождениях // Геология и геохимия месторождений благородных металлов Казахстана. Алма-Ата: КазИМС, 1969. С.12-19
Нарсеев В.А. Эндогенная зональность золоторудных месторождений Казахстана. Алма-Ата: 1973. 240 с.
Нарсеев В.А. Тензоры зональности и их использование при оценке оруденения на глубину // Методика и техника геохимических поисков рудных месторождений. Фрунзе: Илим, 1975. С.210-215
Нарсеев В.А. Критерии поисков золоторудных месторождений в углеродистых терригенных толщах Казахстана (методическое пособие). Алма-Ата: КазИМС, 1980. 70 с.
Нарсеев В.А. Геохимия золота: от В.И. Вернадского до наших дней // Сов. геология. 1988. №5. С.10-21
Нарсеев В.А., Ревякин П.С. Зональность электрофизических свойств некоторых колчеданно-полиметаллических и золоторудных месторождений Казахстана // Геология, геохимия и минералогия золоторудных районов и месторождений Казахстана. Алма-Ата: ОНТИ КазИМС, 1974. Вып. 4. С.12-26

Нарсеев В.А., Самарцев И.Т., Веселов А.В., Гусева Л.Д., Гузман Б.В. Оценка глубоких горизонтов и флангов золоторудных месторождений. М.: ЦНИГРИ, 1989. 500 с.
Нарсеев В.А., Уваров В.В. К геохимии золота терригенных толщ // Геология, геохимия и минералогия золоторудных районов Казахстана. Алма-Ата: ОНТИ КазИМС, 1977. Вып. 7. С.14-23
Нарсеев В.А., Фогельман Н.А., Константинов М.М., Левитан Г.М. Геология золоторудных месторождений СССР. Л.: Недра, 1988. Том V. 320 с.
Нурсултанов А.Н., Кирпота А.Г. Золотое Прииртышье. Алма-Ата: Казахстан, 1992. 158 с.
Овчинников Л.Н. Экспериментальное исследование процессов эндогенного рудообразования // Проблемы кристаллохимии минералов и эндогенного минералообразования. М.: Наука, 1967. С.3-12
Овчинников Л.Н., Масалович А.М. Полиморфизм воды и его роль в гидротермальном рудообразовании // Записки ВМО. 1977. Вып. 2. С.179-192
Паддефет Р. Химия золота. М.: Мир, 1982. 259 с.
Парк Ч.Ф. Теория зональности рудных месторождений // Проблемы рудных месторождений. М.: ИЛ, 1959. С.65-80
Парк Ч.Ф. мл., Мак Дормид Р.А. Рудные месторождения. М.: Мир, 1966. 400 с.
Петрова З.И., Хлебникова А.А. Распределение золота в породах зоны ультраметаморфизма (на примере алданской флогопитоносной провинции) // Геохимия эндогенных процессов. Иркутск: 1977. С.67-80
Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 373 с.
Пириты золоторудных месторождений. М.: ЦНИГРИ, 1993. 492 с.
Помырляну А., Мовиляну А., Михалка Шт. Сфалерит из гидротермального месторождения Капникс (Бая-Маре) // Геохимия. 1968. № 9. С.16-26
Поспелов Г.Л. Строение и развитие фильтрующихся гидротермальных рудообразующих систем // Геология и геофизика. 1962. №12. С.3-24
Потемкин С.В. Благородный 79-й. М.: Недра, 1988. 176 с.
Проблемы образования рудных столбов. Новосибирск: наука, 1972. 436 с.
Проблемы постмагматического рудообразования. Прага: 1963. Том I. 850 с.
Проблемы постмагматического рудообразования. Прага: 1965. Том II. 760 с.
Проблемы рудных месторождений. М.: Недра, 1958. 320 с.
Проблемы эндогенных месторождений. М.: Мир, 1964. 488 с.
Радкевич Е.А. О типах вертикальной и горизонтальной зональности // Сов. геология. 1959. №9. С.6-12
Российское золото., Т. I-II-III, М.: Московский писатель, 1994.
Самородные металлы в постмагматических образованиях. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1985. 112 с.
Сидоров А.А. Проблемы зональности золото-серебряных месторождений // Новые данные по геологии СВ СССР. Магадан: 1973. С.109-119
Смирнов В.И. Шесть типов первичной зональности гидротермальных рудных тел // Изв. АН СССР Сер. геол. 1957. №3. С.23-30
Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. Издание второе. М.: Наука, 1978. 570 с.
Смолин А.П. Самородки золота Урала. М.: Недра, 1970. 120 с.
Спиридонов Э.М. Закономерности формирования и размещения плутоногенных месторождений золота в Северной части Ц. Казахстана. М.: МГУ, 1991. 79 с.
Тимофеевский Д.А. Дарасунское золоторудное поле. М.: Недра, 1976. 278 с.
Тимофеевский Д.А. Геология и минералогия Дарасунского золоторудного поля. М.: недра, 1983. 260 с.
Фосс Г.В. Золото. М.: Госгеолиздат, 1963. 280 с.
Фриденсбург Ф. Экономика горной промышленности мира. М.: Недра, 1968. 520 с.
Хамский Б.В. Кристаллизация из растворов. Л.: Наука, 1967. 185 с.
Хомич В.Г., Чеглоков С.В. О первичной зональности в некоторых золотоносных жилах Балейского рудного поля // Вопросы региональной геологии и минералогии Забайкалья. Чита: 1965 а. Вып. II. С.15-25
Хомич В.Г., Чеглоков С.В. О верхней границе оруденения близповерхностных месторождений золота (Балейское рудное поле) // Вопросы региональной геологии и минералогии Забайкалья. Чита: 1965 б. Вып. II. С.14-20

Хьюлин К.Д. О причинах и условиях образования рудных столбов. ОНТИ НКТП, перевод с англ., М.: 1929. 35 с.
Чеботарев Г.М. О распределении золота в песчано-сланцевых породах Мурунтау // Докл. АН Узб.ССР, 1969, № 6. С.52-54
Черников С.С. Древняя металлургия и горное дело Западного Алтая. Алма-Ата: АН Каз.ССР, 1949. С.111
Шахов Ф.Н. Геология жильных месторождений. Новосибирск: Наука, 1964. 305 с.
Шер С.Д. Металлогения золота. М.: Недра, 1971. Т. I. 295 с.
Шер С.Д. Металлогения золота. М.: Недра, 1974. Т. II. 256 с.
Шиганов А.А., Некрасов Е.М. Взаимосвязи факторов, влияющих на мировой рынок золота // Геология Казахстана. 1995. №2(338). С.68-78
Шнейдерхен Г. Рудные месторождения. М.: ИЛ, 1958. 501 с.
Щепотьев Ю.М., Вартанян С.С., Новиков В.П. Геологопромышленные типы золоторудных месторождений // Изв. ВУЗ-ов. МГРИ. 1994. №3. С.175-190
Щербаков Ю.Г. Распределение и условия концентрации золота в рудных провинциях. Новосибирск: Наука, 1967. 290 с.
Atchison L.A. History of Metals. L.: 1960. Vol 1,2, 647 p.
Barnes H.L. Mechanism of mineral zoning // Econ. Geol., N. I. 1962. P.5-27
Burbank W.S. Structural control of ore deposition in the Red Mountain Shetfels and telluride district of the San Juan Mountains, Colorado // Colorado Geol. Soc. Proc. 1941. Vol. 14. N. 5. P.15-25
Callow K.J., Worley B.W.Jr. The occurence of telluride minerals at the Occupan gold mine, Mountain province, Phillippines // Econ. Geol. 1965. N. 2. P.17-29
Emmons W.H. Hypogene zoning on metalliferous bodies // 16th Intern. Geol. Congr., 1936. Vol. I. P.417-432
Emmons W.H. Gold deposits of the world. McGraw Hill Book Cfmp. Inc., N.Y.–L.: 1937. 863 p.
Fitzgerald A.C., Graham R.J., Gross W.H., Rucklidge J.C. The application and significance of gold-silver ratios at Val d`or, Quebec // Econ. Geol. 1967. N. 2. P.215-240
Geology Australian Ore Deposits. Melbourn: 1953. 610 p.
Hargraves R.B. Silver-gold ratios in some Witwatersrand conglomerates // Econ. Geol. 1963. N. 6. P.14-21
Historia Natural De Cayo Plinio Segundo. Tzaduzida por el Licenciado Geronimo de Huerta, Medicodesu Magestad, y Familiar del Santo Oficio de la Juguisicion. Tomo primero, Libros XXXIII, XXXIIII, FN Madrid, por Juan Gonsalez, ano edicionde 1629, publicada por Instituto Geologico y Munero de Espana.
Naroyanaswami S., Krishnamurti M., Appavadhanulu K. Ore mineralization and wallrock alteration of gold-bearing lodes in Kolar Gold Field, Mysore // Proc. 45th Indian Sci. Cong. Assoc. Vadras, 1958. Calkutta, s.q. III/242.
Park C.F. The zonal theory of ore deposits // Econ. Geol. 1955. N. 2. P.165-172
Park C.F. The problem of vertical zoning // Econ. Geol. 1957. N. 5. P.503-518
Petersen U. Regional geology and major ore deposits of Central Peru // Econ. Geol. 1965. Vol. 60. N. 3. P.407-476
Pretorius D.A. Gold, gelt, gilt: future supply and demand // Econ. Geol. 1981. N. 7. P.2032-2046
Quring H. Geschichte des Goldes. Stutgard. K.Enke Verlag, 1948. 318 p.
Sutherland C.H.V. Gold, its Beauty, Power and Allure. N.Y.: Mc Graw Hill, 1969. 195 p.
Trainer F.E. Potentially recoverable resourses. How recoverable? // Intern. Symp. on Small mine Economic. World Mining. 1981. Vol. 34. N. 8. P.47-51
Villalibre J. Las Medulas y su entorno, Ed. Lancia, Leon, Espana, 1989. P.63

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА 3

I. ОЧЕРК ИСТОРИИ ЗОЛОТА 4

II. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ 33

III. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОХИМИИ ЗОЛОТА 43

IV. ГЕОЛОГИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 66

V. ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ И ФЛАНГОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 187

VI. УСКОРЕННАЯ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ 223

VII. ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ГЕОЛОГИИ ЗОЛОТА 235

ЛИТЕРАТУРА 237

Валерий Александрович Нарсеев

ПРОМЫШЛЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ ЗОЛОТА

Издание подготовлено Научно-издательским Центром “Научный мир” при финансовой поддержке Российской Фонда фундаментальных исследований

Дизайн издания и компьютерная верстка – НИЦ “Научный мир”

Издание отпечатано в Участке оперативной печати. ВНИРО: 107140, Москва, В. Красносельская, 17

Подписано к печати 21.11.96
Формат 70x108 1/16
Гарнитура Таймс Нью Роман
Усл. печ. л. 21,6
Тираж 300 экз.
Заказ 164

Опечатки и исправления

Страница.	Строка сверху	Напечатано	Должно быть
11	5	Великая Пирамида Гизе	Великая Пирамида в Гизе
12	23	масульманской Испании	мусульманской Испании
13	39	Абдаррахмном	Абдаррахманом
18	28	Бергауер Марков	бергауер Марков
44	5	$MI_3P\text{-}Au\text{-}N(SiMe_3)_2$	$Me_3P\text{-}Au\text{-}N(SiMe_3)_2$
48	16	бунзенита (AuNi)	бунзенита и AuNi
49	4	согласно Ганееву и Покалову [1975]	согласно Паддефету [1982]
51	46	[Петрова и Хлебникова, 1977]	[Петровская, 1973]
55	41	о маталлах	о металлах
	45	"Пиротехния"	"Пиротехнию"
134	рис.19 подпись	показаны на рис.18.	показаны на рис.21.
152	табл.72	Кулуджун-рудного поля	Кулуджунского рудного поля
164-165	рис.28,29		Рисунки следует поменять местами, оставив на месте подрисуночные подписи
168	рис.32, подпись	см. на рис.30.	см. на рис.31.
172	рис. 35,36 подписи	см. на рис.30.	см. на рис.31.
173	рис. 37, подпись	2,3,7,11	Подписи 2,3,7,11 - лишние
216	рис. 53, подпись	см.на рис.55.	см. на рис.54.

В.А. Нарсеев "Промышленная геология золота"